

MSc Wirtschaftsinformatik  
Master-Thesis (MATH)

# **Implikationen und Anwendungspotenziale der additiven Fertigungsmethoden (3D-Druck)**

Eine Arbeit über die Anwendungspotenziale und Auswirkungen der additiven Fertigungsmethoden auf die bestehenden Wertschöpfungsprozesse

Verfasser: Simon Helfenberger  
Matrikelnummer: S02-577-526

Erstgutachter und betreuender Dozent:  
Dr. Hans-Dieter Zimmermann, hansdieter.zimmermann@fhsg.ch, FHS St. Gallen  
Zweitgutachter:  
Prof. Dr. Christian Thiel, christian.thiel@fhsg.ch, FHS St. Gallen

Schriftliche Arbeit verfasst an der School of Management and Law  
Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (ZHAW)  
Eingereicht am 22. Mai 2017

## Wahrheitserklärung

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig, ohne Mithilfe Dritter und nur unter Benützung der angegebenen Quellen verfasst habe und dass ich ohne schriftliche Zustimmung der Studiengangleitung keine Kopien dieser Arbeit an Dritte aushändigen werde.

Gleichzeitig werden sämtliche Rechte am Werk an die Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (ZHAW) abgetreten. Das Recht auf Nennung der Urheberschaft bleibt davon unberührt.

Name/Vorname Student/in (Druckbuchstaben)

SIMON HELFENBERGER

---

Unterschrift (Student/in)



---



## Herausgabeerklärung der Dozentin / des Dozenten

Herausgabe <sup>1)</sup> der Master-Arbeit "Implikationen und Anwendungspotenziale der additiven Fertigungsverfahren (3D-Druck)".

Die vorliegende Master-Arbeit wird

- ☐ nicht herausgegeben
- ☐ nicht herausgegeben werden bis ins Jahr .....
- ☐ für eine uneingeschränkte Herausgabe freigegeben.

---

(Ort, Datum)

(Unterschrift der Dozentin / des Dozenten)

<sup>1)</sup> Unter "Herausgabe" wird sowohl die Einsichtnahme im Hause wie auch die Ausleihe bzw. die Abgabe zu Selbstkostenpreisen verstanden.

## Management Summary

Diese Master-Thesis befasst sich mit dem im Gartner Hype Cycle aufgeführten Thema der additiven Fertigung, des sogenannten 3D-Drucks. Im ersten Abschnitt der Arbeit werden die hinter dem 3D-Druck stehenden Technologien untersucht und mit verschiedenen Abbildungen dargestellt. Insgesamt werden die Vor- und Nachteile von sechs verschiedenen 3D-Druck-Verfahren erläutert. Dies beinhaltet auch eine Prozessbeschreibung, wie aus einer Idee ein gedrucktes Objekt wird und was für Materialien für welches 3D-Druck-Verfahren verwendet werden können.

Anhand von ausgewählten Beispielen werden aktuelle Anwendungsfelder des 3D-Drucks erläutert. Die Beispiele zeigen dabei das heute bereits genutzte Potenzial des 3D-Drucks auf.

Im zweiten Abschnitt dieser Master-Thesis werden mittels der Szenario-Technik insgesamt vier Szenarien anhand eines Beispiels entwickelt, wie der 3D-Druck zukünftig die Wertschöpfungs- und Lieferketten beeinflussen kann. Dazu wurden im Rahmen der Szenario-Entwicklung mögliche Schlüsselfaktoren für die Entwicklung des 3D-Drucks identifiziert. Auf diesen Schlüsselfaktoren aufbauend wurden vier Szenarien erarbeitet, ausformuliert und grafisch dargestellt. Die Szenarien behandeln die technologische Entwicklung, das Bedürfnis nach individualisierten Produkten, Veränderungen bei der Logistik sowie eine dezentralisierte, digitalisierte Produktion. Aus den entwickelten Szenarien wurden neun Thesen abgeleitet, wie der 3D-Druck heutige Wertschöpfungs- und Lieferketten in Zukunft beeinflussen und verändern kann.

Die erarbeiteten neun Thesen wurden mittels Experten-Interviews überprüft. Acht der Thesen stimmten die Experten zu. So wird der 3D-Druck zukünftig innerhalb der Wertschöpfungs- und Lieferketten in den Bereichen Logistik und Transport, im Lagermanagement, der Produktion und der Produkteindividualisierung, in der Forschung und Entwicklung und im Ersatzteilmanagement Wirkung zeigen. Weiter kann mit einer verstärkten Digitalisierung von Bauteilen sowie mit einer Verschiebung der Produktion näher zum Endkunden gerechnet werden. Dieser wird somit auch selber befähigt, Produkte mittels des 3D-Drucks herzustellen. Die aufgestellte These zur Vereinfachung im Beschaffungswesen konnte nicht bestätigt werden.

Im dritten Abschnitt dieser Master-Thesis werden ausgewählte Beispiele von zukünftigen Anwendungsmöglichkeiten und Potenzialen anhand einer Literatur-Recherche des 3D-Drucks beschrieben. Diese Beispiele behandeln unter anderem den Einsatz des 3D-Drucks im Gesundheitswesen wie auch in der Nahrungsmittel-Industrie.

Insgesamt zeigt diese Master-Thesis ausführlich die hinter dem 3D-Druck steckenden Technologien und die heutigen, wie auch die zukünftigen, vielfältigen Anwendungsfelder. Ebenso

werden mit den erarbeiteten Thesen mögliche Implikationen des 3D-Drucks auf die Wertschöpfungs- und Lieferketten aufgezeigt.

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung und Ausgangslage .....</b>	<b>1</b>
1.1	Ausgangslage.....	1
1.2	Problemstellung.....	3
1.3	Forschungsfragen.....	3
1.4	Zielsetzungen .....	4
1.5	Begründung und Nutzen dieser Master-Thesis .....	4
1.6	Anwendungsfelder .....	5
<b>2</b>	<b>Hintergründe und Nutzen der definierten Forschungsfragen .....</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>Forschungs-Design und Vorgehensplanung .....</b>	<b>8</b>
3.1	Forschungs-Paradigma .....	8
3.2	Der Erkenntnisprozess Design-Science-Paradigma.....	9
3.3	Forschungs-Design.....	10
3.4	Vorgehensplanung.....	11
3.5	Erhebungsinstrumente.....	13
<b>4</b>	<b>Stand der Forschung und des heutigen Wissens .....</b>	<b>15</b>
4.1	Materialien und Technologien des 3D-Drucks.....	15
4.2	Auswirkungen auf die Wertschöpfungsprozesse.....	16
4.3	Zukünftige Szenarien und Potenziale des 3D-Drucks .....	16
<b>5</b>	<b>Methodenüberblick der Materialien und Anwendungsfelder des 3D-Drucks.....</b>	<b>17</b>
5.1	Prozessbeschreibung für die Erstellung eines 3D-Drucks.....	17
5.2	Der 3D-Drucker .....	19
5.3	Beschreibung der aktuellen 3D-Druck-Methoden und -Materialien .....	20
5.4	Aktuelle Anwendungsfelder des 3D-Drucks .....	32
5.5	Rückblick und Beantwortung der ersten Forschungsfrage .....	44
<b>6</b>	<b>Grundlagen zur Wertschöpfungskette und der Szenario-Entwicklung .....</b>	<b>47</b>
6.1	Wertschöpfungskette (Value Chain) .....	47
6.2	Lieferkette (Supply Chain) .....	48
6.3	Praxisbeispiel: Die Lieferkette (Supply Chain) der Adidas Group.....	49
6.4	Grundlagen zur Szenario-Technik .....	50
<b>7</b>	<b>Szenario-Entwicklung zum zukünftigen Einsatz des 3D-Drucks .....</b>	<b>56</b>
7.1	Phase 1: Durchführung einer Szenariofeld-Analyse.....	56
7.2	Phase 2: Entwicklung von Zukunfts-Projektionen .....	68
7.3	Phase 3: Entwicklung von Szenarien .....	79
<b>8</b>	<b>Auswirkungen des 3D-Drucks auf die Wertschöpfungs- und Lieferketten .....</b>	<b>86</b>
8.1	Beschreibung der IST-Wertschöpfungskette in der Produktion .....	87
8.2	Auswirkungen des ersten Szenarios auf die Wertschöpfungskette .....	89
8.3	Auswirkungen des zweiten Szenarios auf die Wertschöpfungskette .....	92

8.4	Auswirkungen des dritten Szenarios auf die Wertschöpfungskette .....	97
8.5	Auswirkungen des vierten Szenarios auf die Wertschöpfungskette .....	100
8.6	Implikationen der Einflussbereiche auf die Wertschöpfungs- und Lieferketten .....	102
8.7	Neun Thesen zu den Implikationen auf die Wertschöpfungs- und Lieferketten .....	110
8.8	Abschluss der zweiten Forschungsfrage.....	113
<b>9</b>	<b>Aktuelle und zukünftige Möglichkeiten und Potenziale des 3D-Drucks .....</b>	<b>114</b>
9.1	Einsatz-Szenario 1: Der 3D-Drucker für Zuhause .....	114
9.2	Einsatz-Szenario 2: Der 3D-Drucker im Gesundheitswesen .....	116
9.3	Einsatz-Szenario 3: Der 3D-Drucker in der Nahrungsmittel-Industrie.....	117
9.4	Einsatz-Szenario 4: Der 3D-Drucker im Ersatzteil-Management .....	119
9.5	Beispiele von Chancen und Gefahren des 3D-Drucks .....	120
9.6	Fazit zu den zukünftigen Möglichkeiten und Potenzialen des 3D-Drucks.....	124
<b>10</b>	<b>Überprüfung der erarbeiteten Thesen .....</b>	<b>126</b>
10.1	Aufbau des Fragebogens.....	126
10.2	Auswertung der Kategorie A (Technologie) .....	127
10.3	Auswertung der Kategorie B (Materialien) .....	128
10.4	Auswertung der Kategorie C (Anwendungsfelder) .....	129
10.5	Auswertung der Kategorie D (Thesen).....	129
10.6	Auswertung der Kategorie E (Potenziale) .....	132
10.7	Fazit aus der Überprüfung durch die Experten.....	133
<b>11</b>	<b>Abschluss und Fazit .....</b>	<b>134</b>
11.1	Zusammenfassung der Erkenntnisse.....	134
11.2	Kritische Diskussion.....	135
11.3	Empfehlung für das weitere Vorgehen .....	137
	<b>Anhang und Verzeichnisse.....</b>	<b>138</b>
	Abkürzungsverzeichnis.....	138
	Literaturverzeichnis .....	138
	Abbildungsverzeichnis.....	149
	Tabellenverzeichnis.....	151
	Interview-Fragebogen .....	153

# 1 Einleitung und Ausgangslage

Der 3D-Druck, auch unter dem Begriff der "additiven Fertigung" bekannt, gewinnt aufgrund der vielfältigen Einsatzmöglichkeiten zunehmend an Bedeutung. Diese Technologie wird vermehrt in Unternehmen erfolgreich eingesetzt. Bereits heute nutzen in bestimmten Bereichen rund 12% der Unternehmen weltweit die Möglichkeiten des 3D-Drucks (DMCC, 2016). Hält dieser Trend zu einem verstärkten Einsatz von 3D-Druckern an, wird dies auch Auswirkungen auf die Wertschöpfungs- und Lieferketten der Unternehmen haben.

Die vorliegende Master-Thesis mit dem Titel "Implikationen und Anwendungspotenziale der additiven Fertigungsmethoden (3D-Druck)" beinhaltet im ersten Abschnitt die Beschreibung des aktuellen Stands der Technik der verschiedenen additiven Fertigungsmethoden. Im zweiten Abschnitt werden mögliche Auswirkungen auf bestehende Wertschöpfungs- und Lieferketten analysiert und aufgezeigt. Der letzte Abschnitt befasst sich mit den zukünftigen Möglichkeiten und Potenzialen, welche der Einsatz des 3D-Drucks erlaubt.

Die für die Bearbeitung des Themas relevanten Informationen und Daten werden dabei primär mittels Analyse der Fachliteratur und Publikationen erhoben und mit dem Einsatz von Szenarien-Techniken weiterentwickelt. Zusätzlich werden Experten-Interviews durchgeführt um die erarbeiteten Szenarien und die daraus resultierenden Thesen zu überprüfen.

## 1.1 Ausgangslage

Der 3D-Druck ist auf dem Vormarsch und hat bereits in einigen Branchen und Anwendungsfeldern Fuss gefasst. Dies zeigte auch die Ausgabe des "Gartner Hype Cycle's" 2015 zum Thema "3D Printing". Die nachstehende Abbildung 1 zeigt, welche 3D-Druck-Technologien (oder verwandte Technologien) sich gemäss Gartner (Gartner Inc., 2015) im Jahr 2015 in welchem Entwicklungsstadium befanden und wann erwartet wird, dass diese Technologien produktiv eingesetzt werden können. So befinden sich das Prototyping und die Herstellung von Hörgeräten mittels 3D-Druck bereits im produktiven Einsatz, andere Bereiche stehen kurz davor.

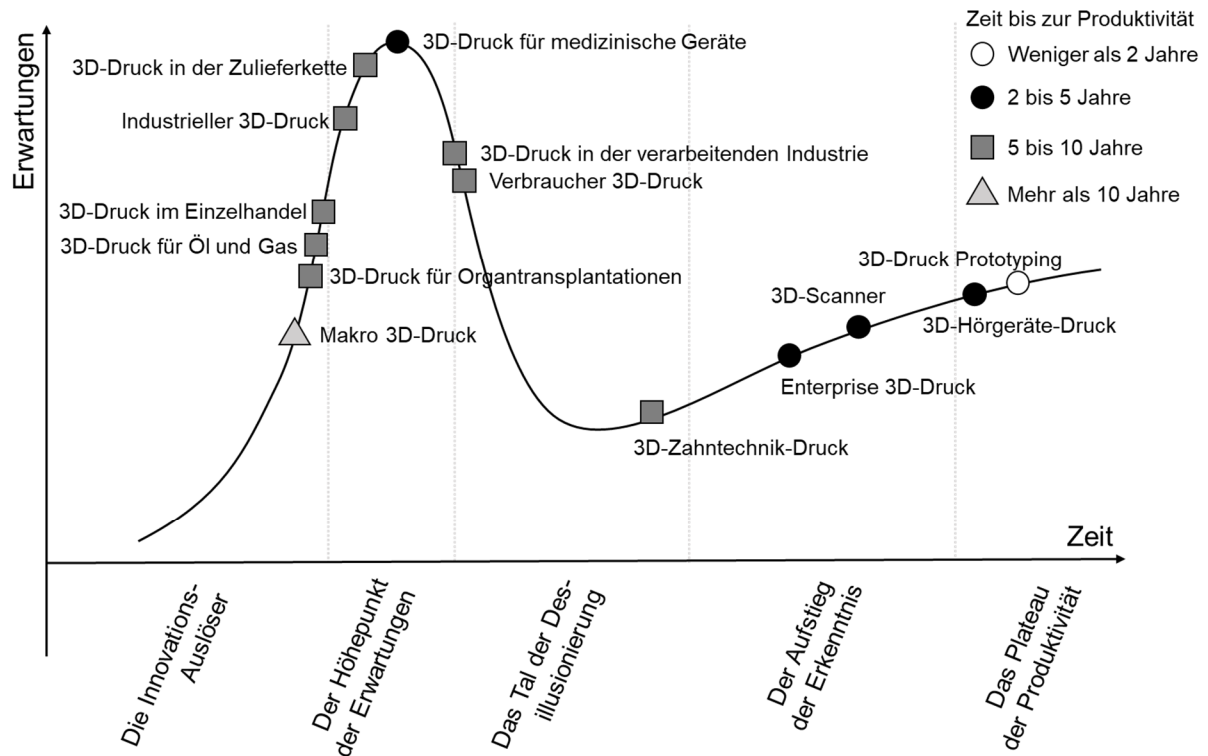


Abbildung 1: Gartner Hype Cycle 2015 zum Thema 3D-Druck  
 Quelle: Eigene Darstellung, in Anlehnung an Gartner (Gartner Inc., 2015)

Diese Entwicklung zeigt, dass der 3D-Druck ein hohes Potenzial hat, sich im privaten wie auch im unternehmerischen Bereich zu etablieren. Dies hat auch Auswirkungen auf die bestehenden Wertschöpfungs- und Lieferketten, denn der 3D-Druck ermöglicht es, Objekte selber und individuell herzustellen, welche bisher eingekauft oder aufwendig produziert werden mussten. Ein Beispiel dazu ist der Hörgeräte-Hersteller Sonova aus Stäfa. Dieses Unternehmen begann bereits nach der Jahrtausendwende individuelle, an die Ohren der Kunden angepasste Teile ihrer Hörgeräte mittels 3D-Druckern zu produzieren. Während vorher jedes Bauteil als Unikat von Hand und damit sehr aufwändig hergestellt werden musste, werden diese Bauteile heute innerhalb kurzer Zeit mittels 3D-Druckern produziert. Dieser Zeitgewinn ist gemäss Sonova auch ein wichtiger Wettbewerbsvorteil (Sonova, 2016).

Wie das obige Beispiel von Sonova zeigt, wird der 3D-Druck punktuell bereits erfolgreich eingesetzt. Eine Umstellung von der herkömmlichen auf die additive Fertigung mittels 3D-Druckern bedeutet dabei jeweils grössere Veränderungen, insbesondere auch auf die Liefer- und Wertschöpfungsketten von Unternehmen. Diese Thematik wird mit der fortschreitenden Entwicklung und den immer breiteren Einsatzmöglichkeiten des 3D-Drucks zunehmend zentraler.

## 1.2 Problemstellung

Der 3D-Druck wurde in den 1980er Jahre entwickelt und anschliessend auch eingesetzt (Feldmann & Pumpe, 2016, S. 5). Seither wurde die Technologie weiterentwickelt und bietet heute unterschiedliche Verfahren und ermöglicht die Verwendung unterschiedlicher Materialien (Hagl, 2015, S. 17 & 37). Damit wird es möglich, individuell gestaltete Objekte, aber auch Bauteile oder Komponenten in nahezu jeder erdenklichen Form zu fertigen. Benötigt werden dazu 3D-Drucker, welche bereits im Detailhandel oder bei spezialisierten Unternehmen in unterschiedlichen Ausprägungen und Preisklassen verfügbar sind, sowie die entsprechenden Rohmaterialien.

Mittels dem 3D-Druck wird es für Unternehmen daher möglich sein, Bauteile und Komponenten direkt selber herzustellen. Anstelle des Einkaufs von fertigen Bauteilen, welche beispielsweise mit herkömmlichen Fertigungsverfahren (z.B. Fräsen, Spritzgiessen, Schweißen etc.) durch Spezialisten hergestellt werden, können Unternehmen solche Bauteile nun selber drucken. Werden diese Prozessschritte in das eigene Unternehmen integriert, hat dies Auswirkungen auf die bisherige Wertschöpfungskette und auch auf die eigenen Wertschöpfungsprozesse. Da gemäss Stölzle et. al. (2016, S. 177) in verschiedenen Industrien ein reges Interesse am Einsatz von additiven Verfahrensmethoden existiert, wird diese Technologie bisherige, etablierte Wertschöpfungsketten beeinflussen.

## 1.3 Forschungsfragen

Gemäss (Kronmeier, 2007, S. 9) ist es das Ziel jeder wissenschaftlichen Arbeit, eine oder mehrere Forschungsfragen zu beantworten. Anhand der im Kapitel 1.1 beschriebenen Ausgangslage wurden die nachstehenden drei Forschungsfragen abgeleitet. Die Definition von mehr als einer Forschungsfrage wurde bewusst so gewählt und erfolgte in Absprache mit dem Auftraggeber. Die Beantwortung dieser drei Forschungsfragen ist das Ziel der Master-Thesis.

### **Erste Forschungsfrage: Grundlagen des 3D-Drucks bezüglich der verschiedenen Verfahren und Materialien**

Welche additiven Fertigungsverfahren und welche Materialien werden aktuell in welchen Anwendungsfeldern erfolgreich eingesetzt?

### **Zweite Forschungsfrage: Veränderungen der Wertschöpfungs- und Lieferketten**

Wie können additive Fertigungsverfahren bestehende Wertschöpfungs- und Lieferketten nachhaltig beeinflussen?

### **Dritte Forschungsfrage: Zukünftige Entwicklung und Anwendungsfelder**



Welche neuen Möglichkeiten und Potenziale bietet der Trend der additiven Fertigungstechniken aktuell und in Zukunft für Unternehmen und Privatpersonen?

Anhand dieser drei Forschungsfragen können die folgenden Unterforschungsfragen definiert werden. Diese Unterforschungsfragen unterstützen die Beantwortung der primären drei Forschungsfragen.

### **Unterforschungsfragen**

1. Wie werden heute additive Fertigungsmethoden eingesetzt? Welche Branchen nutzen diese additiven Methoden bereits erfolgreich?
2. Wie sind heutige Wertschöpfungs- und Lieferketten aufgebaut und wie funktionieren sie?
3. Wo liegen die Grenzen der additiven Fertigungsmethoden und wie können sich diese Methoden und die Technologien weiterentwickeln?

## **1.4 Zielsetzungen**

Diese Master-Thesis hat primär das Ziel aufzuzeigen, welche Auswirkungen der Einsatz von additiven Fertigungsmethoden auf die Wertschöpfungs- und Lieferketten von Unternehmen haben kann. Die sich daraus ergebenden möglichen Veränderungen und Anwendungspotenziale für die beteiligten Unternehmen sollen dabei analysiert und dargelegt werden.

Weiter soll die Arbeit den aktuellen Stand der additiven Fertigung, die eingesetzten Technologien, die Verfahren und die verwendeten Materialien beschreiben und einen Ausblick auf die mögliche zukünftige Entwicklung sowie deren Anwendungspotenziale im geschäftlichen wie auch im privaten Umfeld geben.

## **1.5 Begründung und Nutzen dieser Master-Thesis**

Die zu erarbeitende Master-Thesis lässt sich dadurch begründen, da durch sie neue Erkenntnisse zu den Auswirkungen auf die Wertschöpfungs- und Lieferketten aufgrund des Einsatzes von additiven Fertigungsmethoden, dem 3D-Druck, gewonnen werden. Die Analyse zeigt, welche neuen Anwendungspotenziale, aber auch welche Gefahren durch den Einsatz der additiven Fertigung auf die beteiligten Stakeholder in den Wertschöpfungsprozessen zukommen.

Die Thematik der additiven Fertigungsmethoden ist relativ neu, respektive erst seit wenigen Jahren effektiv produktiv und gewinnbringend einsetzbar. Die aus dieser Arbeit gewonnenen Erkenntnisse können Unternehmen bei der Identifikation von Anwendungspotenzialen und bei der Entscheidung, in das Gebiet der additiven Fertigung zu investieren, zukünftig unterstützen. Damit können die Unternehmen auch ihre Zuliefer- und Fertigungsprozesse optimieren.

## 1.6 Anwendungsfelder

Diese Arbeit bewegt sich in mehreren unterschiedlichen Anwendungsfeldern, schwergewichtig jedoch in den Bereichen der Technologie und der Anwendung des 3D-Drucks. Weiter wird das Anwendungsfeld des Supply Chain Managements mit der Betrachtung der Wertschöpfungsprozesse tangiert. Letztlich wird auch das Anwendungsfeld der Produktentwicklung (Potenziale) gestreift. Hier geht es darum, ob und wie der 3D-Druck die Produktentwicklung beeinflussen kann. Die Abbildung 2 zeigt das Zusammenspiel dieser drei Anwendungsfelder im Rahmen der Master-Thesis.

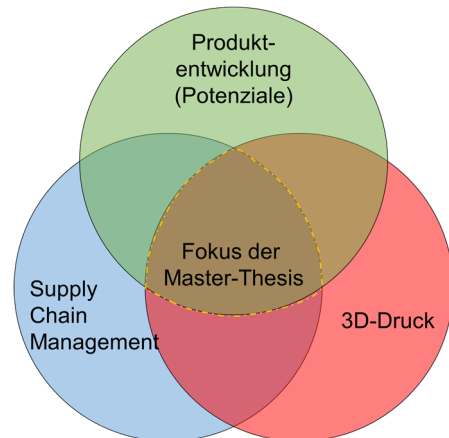


Abbildung 2: Betroffene Anwendungsfelder  
Quelle: Eigene Darstellung

Diese drei Anwendungsfelder beinhalten die folgenden relevanten Punkte:

- **3D-Druck:** Technologie, Materialien, Anwendungsmöglichkeiten, Verfahren, Methoden, Einsatzgebiete, Entwicklungsmöglichkeiten.
- **Supply Chain Management:** Wertschöpfungssysteme (Wertschöpfungs- und Lieferketten), Optimierungen, Veränderungen.
- **Produktentwicklung:** Innovationen in der Entwicklung aufgrund des 3D-Drucks, erweiterte Gestaltungsmöglichkeiten dank des 3D-Drucks, neue Geschäftsmodelle.

## 2 Hintergründe und Nutzen der definierten Forschungsfragen

Für die Master-Thesis wurden zusammen mit dem Auftraggeber insgesamt drei Forschungsfragen definiert. Nachfolgend sind die Hintergründe der drei Forschungsfragen, welche bereits im Kapitel 1.3 aufgeführt wurden, erläutert.

### **Erste Forschungsfrage:**

Welche additiven Fertigungsmethoden und welche Materialien werden aktuell in welchen Anwendungsfeldern erfolgreich eingesetzt?

**Hintergrund der Forschungsfrage:** Die Forschungsfrage hat zum Ziel, die aktuellen Technologien, Materialien und Druckverfahren zu erfassen und deren generelle Vor- und Nachteile in der Anwendung wie auch deren Potenziale in den unterschiedlichen Branchen aufzuzeigen. Die Beantwortung dieser Forschungsfrage soll als Grundlage für die Beantwortung der anderen beiden Forschungsfragen dienen.

**Begründung und Nutzen für die Forschungsfrage:** Aufgrund des stetigen Wandels und der Weiterentwicklung der 3D-Druck-Technologie soll eine aktuelle Übersicht über den Stand der Technik des 3D-Drucks geschaffen werden. Der Nutzen manifestiert sich dadurch, dass der aktuelle Technologie- und Wissensstand zusammengetragen und dadurch eine Wissensbasis sowohl für diese Arbeit, wie auch von genereller Hinsicht, geschaffen wird.

### **Zweite Forschungsfrage:**

Wie können additive Fertigungsmethoden bestehende Wertschöpfungs- und Lieferketten nachhaltig beeinflussen?

**Hintergrund der Forschungsfrage:** Mit dem Einsatz von 3D-Druckern wird es möglich, Elemente oder ganze Produkte direkt vor Ort zu entwickeln und auch gleich zu produzieren. Die 3D-Druck-Technologie wird sich in die bestehenden Produktionsprozesse integrieren müssen und diese damit, je nach Integrationsstufe, auch massgeblich verändern. Diese Integration wird ebenfalls die Liefer- und Wertschöpfungsketten, wie auch die Logistik und Fertigungszeiten beeinflussen und schlussendlich auch Auswirkungen auf die Umwelt haben. Wie diese Auswirkungen sein können und wie die Liefer- und Wertschöpfungsketten beeinflusst werden können, wird mit dieser Frage beantwortet.

**Begründung und Nutzen für die Forschungsfrage:** Mit der fortschreitenden Entwicklung und Verbreitung der additiven Fertigungsverfahren werden sich auch Unternehmen vermehrt mit der Thematik einer Integration in die eigenen Prozesse befassen müssen. Dabei werden auch Anpassungen an bestehenden Liefer- und Wertschöpfungsketten nach und nach vollzo-

gen werden müssen. Eine Analyse der Auswirkungen auf eben diese Liefer- und Wertschöpfungsketten kann mögliche Risiken, aber auch Chancen aufzeigen. Diese Erkenntnisse können für zukünftige 3D-Druck-Integrationen bei Unternehmen verwendet werden.

**Dritte Forschungsfrage:**

Welche neuen Möglichkeiten und Potenziale bietet der Trend der additiven Fertigungstechniken aktuell und in Zukunft für Unternehmen und Privatpersonen?

**Hintergrund der Forschungsfrage:** Mit der zunehmenden Verbreitung und der Verwendung von 3D-Druckern in Unternehmen werden sich auch die Unternehmens-Prozesse an diese Technologie anpassen. Ausserdem ermöglicht der 3D-Druck im geschäftlichen, wie auch im privaten Umfeld eine Erhöhung der Individualisierung (Mass Customization), was wiederum neue Möglichkeiten und Potenziale für die Produktion, wie auch für die Produktentwicklung und weitere Bereiche beinhaltet.

**Begründung und Nutzen für die Forschungsfrage:** Mit möglichen Anwendungs-Beispielen des 3D-Drucks soll ein Blick in die nahe Zukunft gemacht und Chancen, aber auch Risiken aufgezeigt werden. Dies erlaubt einen Ausblick über die mögliche Weiterentwicklung des 3D-Drucks, welche Materialien zukünftig eingesetzt werden und welche Änderungen daraus resultieren könnten.

### 3 Forschungs-Design und Vorgehensplanung

In den folgenden Kapiteln wird auf das Forschungs-Design und auf die Planung der Master-Thesis eingegangen.

#### 3.1 Forschungs-Paradigma

Die Master-Thesis basiert auf dem Design-Science-Paradigma nach Hevner et al. (2004). Das Ziel der Design-Science ist die Konstruktion und Bewertung von Artefakten zur Lösung von Problemen. Das in der Master-Thesis zu erarbeitende Artefakt ist die Ausarbeitung von Szenarien zum Thema "Implikationen und Anwendungspotenziale der additiven Fertigungsmethoden (3D-Druck)". Aus diesen Szenarien werden Thesen abgeleitet, welche mittels Experten-Interviews bewertet werden.

Das Gegenstück zum Design-Science-Paradigma ist das Behavioral-Science-Paradigma, welches auf das Verhalten von Menschen und Organisationen fokussiert ist. Dieses Forschungs-Paradigma kommt in dieser Master-Thesis nicht zur Anwendung.

Die folgende Abbildung 3 zeigt das Zusammenspiel und die Inhalte der beiden Forschungs-Paradigmen der Design- und Behavioral-Science auf.

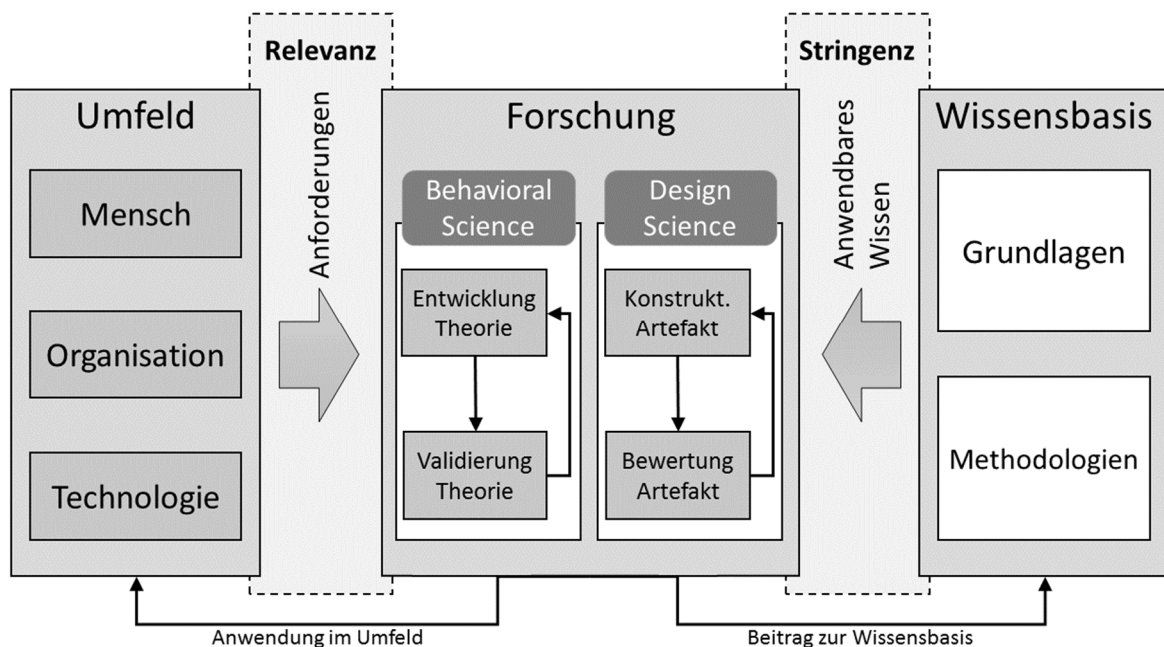


Abbildung 3: Information System Research Framework  
Quelle: Wortmann (2006, S. 6)

## 3.2 Der Erkenntnisprozess Design-Science-Paradigma

Der Erkenntnisprozess innerhalb des Design-Science-Paradigmas, der gestaltungsorientierten Wirtschaftsinformatik, erfolgt normalerweise in den drei Phasen "Analyse", "Entwurf" und "Evaluation", wie sie in Abbildung 4 dargestellt sind.



Abbildung 4: Phasen im Erkenntnisprozess  
Quelle: Eigene Darstellung

Diese drei Phasen werden in den folgenden Kapiteln in Anlehnung an Österle et al. (2010) beschrieben. Auf die vierte Phase, die Diffusion, wird nicht weiter eingegangen, da eine möglichst breite Publikation nicht im Fokus dieser Master-Thesis steht.

### 3.2.1 Analyse

Die erste Phase des Design-Science-Paradigmas ist die Analyse. Hier wird die Problemstellung erhoben und beschrieben. Dazu muss eine Wissensbasis zur Problemstellung aufgebaut werden. Dies erfolgt in dieser Master-Thesis mittels einer Literaturanalyse und gezielten Produktrecherchen. Die Literaturanalyse wird auf die in der Problemstellung beschriebenen und in den Forschungsfragen definierten Themen fokussiert. Diese Themen sind die folgenden:

- **Wissen über die Technologien und Materialien im 3D-Druck:** Als erster Schritt wird die Wissensbasis bezüglich der aktuellen 3D-Druck-Technologien und -Materialien aufgebaut. Dieses Wissen wird später für die Beantwortung der ersten Forschungsfrage verwendet und dient ebenfalls zur Identifizierung von aktuellen Anwendungsgebieten.
- **Anwendungsfelder und Einsatzgebiete:** In der Analysephase wird untersucht, in welchen Anwendungsfeldern der 3D-Druck aktuell eingesetzt wird und wo diese Technologie zukünftig noch eingesetzt werden könnte. Anhand dieser Beispiele können anschliessend in der Entwurfsphase die Auswirkungen auf die Wertschöpfungsketten analysiert werden.
- **Grundlagen zu Wertschöpfungsketten und Szenarien:** Um Szenarien entwickeln zu können, muss die dazu notwendige Wissensbasis bezüglich der Szenarien-Entwicklung erarbeitet und beschrieben werden. Das gleiche gilt für die Wertschöpfungsketten. Mit dieser Wissensbasis werden in der Entwurfsphase die Artefakte erstellt.

Die Erkenntnisse der Analysephase bilden die Wissensbasis für die Erstellung des eigentlichen Artefakts in der Entwurfsphase. In der Abbildung 3 ist dies der rechte Block.

### 3.2.2 Entwurf

Die Entwurfsphase beinhaltet die Erstellung des eigentlichen Artefakts. In der Abbildung 3 entspricht dies dem mittleren Block des Design-Science-Paradigmas nach Hevner et al. (2004). Das Artefakt dieser Master-Thesis wird die Erarbeitung von Szenarien und die daraus abgeleiteten Thesen bezüglich der Auswirkungen des 3D-Drucks auf die Wertschöpfungsketten sein. Diese Thesen sollen aufzeigen, in welchen Anwendungsgebieten sich welche Auswirkungen manifestieren können.

### 3.2.3 Evaluation

In der dritten und damit letzten Phase dieser Master-Thesis werden die erarbeiteten Erkenntnisse überprüft. Dies geschieht mittels Experten-Interviews. Das Ziel dabei ist zu prüfen, ob die erarbeiteten Thesen zum 3D-Druck auch von Experten unterstützt werden. Die aus den Interviews gewonnenen Erkenntnisse werden dokumentiert.

## 3.3 Forschungs-Design

Das Forschungs-Design in Abbildung 5 beschreibt den anvisierten Aufbau der Arbeit bezüglich der Kapitelstruktur und des Inhalts. Ebenso verdeutlicht das Forschungs-Design die Zusammenhänge zwischen dem methodischen Vorgehen und den zu realisierenden Artefakten.

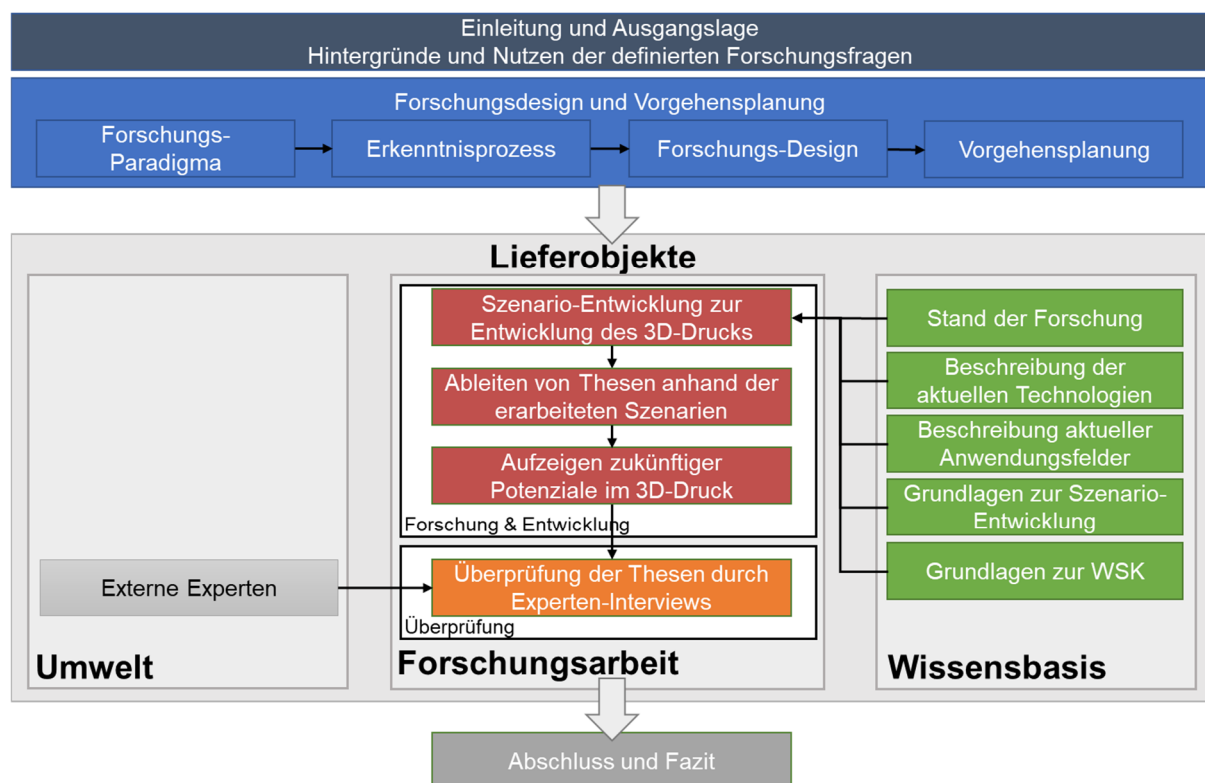


Abbildung 5: Forschungs-Design  
Quelle: Eigene Darstellung

### 3.4 Vorgehensplanung

Für diese Master-Thesis werden die zwei Phasen aus dem Design-Science-Paradigma verwendet: Die Konstruktion eines Artefakts (erste Phase) und dessen Bewertung (zweite Phase). In der Konstruktionsphase werden zur Beantwortung der definierten Forschungsfragen mögliche Szenarien und daraus abgeleitete Thesen erarbeitet, welche die Auswirkung der additiven Fertigung auf die Wertschöpfungsprozesse darstellen. Ebenso wird dabei aufgezeigt, welche zukünftige Entwicklungspotenziale im Rahmen dieser Technologie vorhanden sind und umgesetzt werden können. Die anhand der entwickelten Szenarien aufgestellten Thesen werden anschliessend in der Bewertungsphase mittels einer Experten-Befragung (qualifizierte Interviews) überprüft.

Der Szenarien-Entwicklung vorausgehend wird zur Beantwortung der ersten Forschungsfrage eine aktuelle IST-Analyse des heutigen Stands der Technik bei den additiven Fertigungsverfahren erfolgen. Dies entspricht der Erarbeitung des "State of the Art", dem aktuellen Erkenntnisstand nach Kronmeier (2007, S. 109). Diese IST-Analyse dient dabei als Basis für die Beantwortung der beiden anderen Forschungsfragen.

Die Durchführung der Master-Thesis kann demnach in unterschiedliche Realisierungs-Phasen aufgeteilt werden. Die Grundlage dazu bilden die Phasen aus dem gewählten Forschungs-Paradigma. Die folgenden Realisierungs-Phasen, gemäss Tabelle 1, wurden für die Erstellung der geplanten Master-Thesis identifiziert:

Name	Titel der Realisierungs-Phasen
P01	Erarbeitung der Grundlagen.
P02	Erarbeitung von Szenarien bezüglich der Wertschöpfungsketten und Ableitung von Thesen.
P03	Beschreibung von zukünftigen Einsatz-Möglichkeiten des 3D-Drucks.
P04	Validierung der Thesen mittels Experten-Interviews.
P05	Überarbeitung und Finalisierung der Master-Thesis

Tabelle 1: Realisierungs-Phasen  
Quelle: Eigene Darstellung

Den einzelnen Phasen werden die in der Tabelle 2 aufgelisteten Arbeitspakete zugeordnet. Eine grobe Phasen-Zugehörigkeit ist dabei ebenfalls dargestellt.



Phase	Name	Titel und Beschreibung der Arbeitspakete
State of the Art (P01)	A01	IST-Analyse zum 3D-Druck recherchieren.
	A02	Beschreibung des aktuellen Stands der Technik, Verfahren und Materialien.
	A03	Beantwortung und Abschluss der ersten Forschungsfrage.
	A04	Wissensbasis zum Supply Chain Management erarbeiten.
	A05	Literaturrecherche zur üblichen Ausgestaltung und Abläufen von Wertschöpfungsketten und -prozessen.
	A06	Beschreibung und Dokumentation der recherchierten Wertschöpfungsketten und -prozesse (IST-Aufnahme).
Artefakt Konstruktion (P02, P03)	A07	Erarbeitung und Dokumentation der Theorie zu den Szenarien-Techniken.
	A08	Erarbeitung von Veränderungs-Szenarien der Wertschöpfungsketten und -prozesse gegenüber der aktuellen Ausgestaltung.
	A09	Ableitung und Beschreibung von Thesen mit den Implikationen auf die Wertschöpfungsketten anhand der erarbeiteten Szenarien.
	A10	Recherche über die mögliche Weiterentwicklung des 3D-Drucks.
	A11	Beschreibung und Dokumentation möglicher zukünftiger Entwicklungs-Szenarien des 3D-Drucks.
Bewertung (P04, P05)	A12	Ausarbeitung eines Interview-Fragebogens und -Leitfadens für die Durchführung von Experten-Interviews.
	A13	Durchführung der Experten-Interviews.
	A14	Auswertung der Interviews und Bewertung der Thesen.
	A15	Den Entwurf der Master-Thesis überarbeiten und finalisieren.

Tabelle 2: Arbeitspaket-Planung  
Quelle: Eigene Darstellung

Werden die Realisierungs-Phasen mit den Arbeitspaketen kombiniert, ergibt sich daraus die nachstehende, in der Tabelle 3 dargestellte Übersicht. Diese wurde mit Meilensteinen (in der Farbe hellrot) ergänzt. Die Meilensteine dienen dazu, Abweichungen vom Terminplan während der Ausführung der Master-Thesis zu erkennen.

Name	Typ	Titel und Beschreibung
P01	Phase	Erarbeitung der Grundlagen (State of the Art).
A01	Arbeitspaket	IST-Analyse zum 3D-Druck recherchieren.
A02	Arbeitspaket	Beschreibung des aktuellen Stands der Technik, Verfahren und Materialien.
A03	Arbeitspaket	Beantwortung und Abschluss der ersten Forschungsfrage.
M01	Meilenstein	Die Beantwortung der Forschungsfrage 1 ist erfolgt.
A04	Arbeitspaket	Wissensbasis zum Supply Chain Management erarbeiten.
A05	Arbeitspaket	Literatur-Recherche zur üblichen Ausgestaltung und Abläufen von Wertschöpfungsketten und -prozessen.
A06	Arbeitspaket	Beschreibung und Dokumentation der recherchierten Wertschöpfungsketten und -prozesse (IST-Aufnahme).
A07	Arbeitspaket	Erarbeitung und Dokumentation der Theorie zu den Szenarien-Techniken.
M02	Meilenstein	Der Wissensaufbau zum Supply Chain Management, zu den Szenarien-Techniken und zu den Wertschöpfungsketten ist abgeschlossen.
P02	Phase	Erarbeitung von Veränderungs-Szenarien bezüglich der Wertschöpfungsketten und der Ableitung von Thesen anhand der Szenarien (Artefakt Konstruktion).
A08	Arbeitspaket	Erarbeitung von Veränderungs-Szenarien der Wertschöpfungsketten und -prozesse gegenüber der recherchierten, aktuellen Ausgestaltung.
A09	Arbeitspaket	Ableitung und Beschreibung von Thesen anhand der erarbeiteten Szenarien mit den Implikationen auf die Wertschöpfungsketten.
M03	Meilenstein	Die Beantwortung Forschungsfrage 2 ist erfolgt.
P03	Phase	Erarbeitung von zukünftigen Entwicklungs-Szenarien (Artefakt Konstruktion).
A10	Arbeitspaket	Recherche über die mögliche Weiterentwicklung des 3D-Drucks.
A11	Arbeitspaket	Beschreibung und Dokumentation möglicher zukünftiger Entwicklungs-Szenarien.
M04	Meilenstein	Die Beantwortung Forschungsfrage 3 ist erfolgt.
P04	Phase	Validierung der Thesen mittels Experten-Interviews (Bewertung).
A12	Arbeitspaket	Ausarbeitung eines Interview-Fragebogens für die Experten-Interviews.
A13	Arbeitspaket	Durchführung der Experten-Interviews.
A14	Arbeitspaket	Auswertung der Interviews und Überprüfung der Thesen.
M05	Meilenstein	Die Validierung der Thesen ist abgeschlossen.
P05	Phase	Überarbeitung und Finalisierung der Master-Thesis
A15	Arbeitspaket	Den Entwurf der Master-Thesis überarbeiten und finalisieren.
M06	Meilenstein	Die Master-Thesis ist fertiggestellt und bereit zur Abgabe.

Tabelle 3: Vorgehens-Übersicht  
Quelle: Eigene Darstellung

### 3.5 Erhebungsinstrumente

Im Rahmen dieser Master-Thesis werden verschiedene Erhebungsinstrumente verwendet. Die nachstehende Tabelle 4 zeigt die verschiedenen Erhebungsinstrumente und die Arbeitspakete, in denen sie angewendet werden.

<b>Erhebungsinstrument</b>	<b>Arbeitspaket(e)</b>
Literaturrecherche	A01, A02, A04, A05, A06, A10, A11
Produktrecherchen	A01
Szenarien-Entwicklung	A08, A09
Experten-Interviews und deren Auswertung	A12, A13, A14

Tabelle 4: Erhebungsinstrumente und Arbeitspakete  
Quelle: Eigene Darstellung

Insgesamt werden vier Erhebungsinstrumente verwendet: Die Literaturrecherche, Produktrecherche (IST-Aufnahme der Produkte im 3D-Druck-Bereich), Szenario-Techniken und qualitative Experten-Interviews (inkl. Vorbereitung und Auswertung). Für die Interview-Durchführung wird ein strukturierter Interview-Leitfaden erarbeitet.

## 4 Stand der Forschung und des heutigen Wissens

Die Forschung zum Thema 3D-Druck oder zur additiven Fertigung begann bereits in den 1980er-Jahren. Damals wurde der erste 3D-Drucker von Carl Deckard und Joe Beaman an der Universität von Texas gebaut (Lipson & Kurman, 2013, S. 9). Seither wurde die Technologie stetig weiterentwickelt, doch erst im Jahr 2007 erschien sie auf dem "Gartner Hype Cycle for Emerging Technologies" (Gartner Inc., 2007). Von da an war der 3D-Druck wiederkehrend als Trend in der Gartner-Studie anzutreffen.

Seither ist das Thema 3D-Druck auch in der Literatur vermehrt vertreten, relevante Arbeiten sind daher eher jung und erst in den letzten Jahren erschienen. Nachstehend wird anhand der drei, im Kapitel 1.3 definierten, Forschungsfragen erörtert, wie der Forschungs- und Wissensstand in der aktuellen Literatur ist und wie sich die Forschungslücke, welche die Fragen beantworten soll, äussert.

### 4.1 Materialien und Technologien des 3D-Drucks

Die hinter der additiven Fertigung steckende Technologie, das 3D-Druckverfahren, wurde in der gängigen Literatur bereits mehrfach beschrieben. So beschreibt Hagl (2015, S. 15 ff.) die einzelnen 3D-Druck-Technologien und zeigt auch in mehreren Darstellungen, wie die dazu notwendigen 3D-Drucker aufgebaut sind. Ebenso werden verschiedene Anwendungsbeispiele aufgezeigt, wo diese 3D-Drucker eingesetzt werden. Auch Lachmayer, Lippert und Fahlbusch (2016, S. 19 ff.) gehen detailliert auf laserbasierte 3D-Drucktechnologien ein. Dabei werden auch hier die dahinterstehende Technik sowie der Ablauf des 3D-Drucks detailliert beschrieben, der Fokus liegt auch hier auf der Technologie. Es wird aber auch auf die Vor- und Nachteile und kurz auf mögliche Anwendungsfälle hingewiesen. Bei Lipson und Kurmann (2013) wird ebenfalls auf die verschiedenen 3D-Druck-Technologien, deren Vorzüge, die Rohmaterialien und zusätzlich auf die Pre- und Post-Prozesse des 3D-Druckens eingegangen. Unter anderem wird die Thematik behandelt, ob die Druckobjekte selber gezeichnet oder gescannt werden können.

Eine Zusammenstellung der aktuellen 3D-Drucktechnologien, der eingesetzten Materialien und der Anwendungsfelder, wobei der Fokus auf diesen Anwendungsfeldern liegt, ist in der gegenwärtigen Literatur nur schwer zu finden. Hier wird oftmals die Technologie und das Verfahren in den Vordergrund gestellt und auch beschrieben. Mit der Fokussierung auf die Anwendungsfelder, in welchen die ebenfalls beschriebenen Technologien eingesetzt werden, wird im Rahmen der Master-Thesis eine Forschungslücke geschlossen und bestehendes Wissen ergänzt.

## **4.2 Auswirkungen auf die Wertschöpfungsprozesse**

In der Literatur wird die Thematik, dass die Möglichkeiten des 3D-Drucks Auswirkungen auf Lieferketten und die Logistik haben könnten, bereits behandelt. So haben Hofmann und Oettmeier (2016) in einem siebenseitigen Beitrag in der Zeitschrift "ZFO- Zeitschrift Führung und Organisation" beschrieben, wo die Potenziale des 3D-Drucks auf der Lieferanten- wie auch auf der Kundenseite einer Lieferkette angesiedelt sind. Dies auf der Basis einer Umfrage bei 195 Schweizer Unternehmen. In der Logistikmarktstudie Schweiz, Band 2016 (Stölzle, Hofmann, & Oettmeier, 2016), werden die Auswirkungen der additiven Fertigung auf das Supply Chain Management und die Produktion anhand von zwei Fallstudien beschrieben. Auch Print-Medien greifen teilweise das Thema 3D-Druck auf. So werden in einem Beitrag in der Bilanz (Bilanz - Das Schweizer Wirtschaftsmagazin, 2014) die Auswirkungen auf die Logistik ebenfalls kurz thematisiert.

Die Auswirkungen auf die Wertschöpfungsketten werden bereits in der aktuellen Literatur und der Berichterstattung behandelt. Mit der hier geplanten Master-Thesis werden die bestehenden Analysen ergänzt und gegebenenfalls weiterentwickelt. Damit ist die Arbeit relevant für die Gewinnung neuer Erkenntnisse.

## **4.3 Zukünftige Szenarien und Potenziale des 3D-Drucks**

Der 3D-Druck wird in der Zukunft an Bedeutung gewinnen und die Technologie wird Veränderungen mit sich bringen. So erwarten Mohr & Kahn (2015, S. 162 ff.), dass der 3D-Druck über das Potenzial verfügt, die globale Logistik und die Warenlagerung zu rationalisieren. Ebenso gehen sie davon aus, dass die wertschöpfenden Aktivitäten entlang bestehender Lieferketten neu definiert und priorisiert werden müssen. Neben den Auswirkungen auf die Logistik werden in der Fachliteratur oftmals auch die neuen Möglichkeiten und Potenziale des 3D-Drucks diskutiert, insbesondere die Möglichkeiten der Gestaltung und des Designs der hergestellten Objekte. Dies wurde auch bereits im Jahr 2012 im Swiss Medtech Report (2012, S. 15-16) beschrieben.

Generell wurde in der Fachliteratur erkannt, dass sich mit der Weiterentwicklung und dem damit verbundenen vermehrten Einsatz des 3D-Drucks die Liefer- und Wertschöpfungsketten verändern werden. Darum ist es umso interessanter, die zukünftigen Szenarien für den Einsatz des 3D-Drucks und seine Potenziale im Rahmen der Master-Thesis vertieft zu prüfen, darzustellen und durch Experten zu validieren.

## 5 Methodenüberblick der Materialien und Anwendungsfelder des 3D-Drucks

Dieses Kapitel untersucht, welche Druck-Methoden, auch Druck-Verfahren genannt, aktuell beim 3D-Druck zur Anwendung kommen. Dabei wird auch ein Blick auf die zugrunde liegende Technik geworfen. Weiter soll aufgezeigt werden, welche Materialien beim 3D-Druck zur Anwendung gelangen. Der dritte Punkt untersucht die Anwendungsfelder, in welchen aktuell und zukünftig der 3D-Druck eingesetzt werden kann. Mit diesen drei Punkten soll die erste Forschungsfrage aus dem Kapitel 1.3 beantwortet werden.

### 5.1 Prozessbeschreibung für die Erstellung eines 3D-Drucks

Um ein Objekt mittels 3D-Druck zu erstellen, braucht es als erstes eine Idee: Was soll gedruckt werden? Ist das Ziel bekannt, beginnt der Prozess für die Erstellung eines 3D-Objekts aus dem 3D-Drucker.

Als erster Schritt wird vom anvisierten Objekt ein 3D-Modell am Computer modelliert. Dazu bieten sich die folgenden drei Vorgehensweisen für den durchschnittlichen Anwender an:

- **Download eines online Modells**

Im Internet gibt es verschieden Anbieter (z.B. thingiverse.com, youmagine.com, 3dwarehouse.sketchup.com, uvm.), welche 3D-Modelle zum Download anbieten. Diese 3D-Modelle können nach dem Download entweder direkt gedruckt oder weiterbearbeitet werden.

- **Modellierung eines eigenen 3D-Modells**

Das anvisierte 3D-Objekt wird manuell mittels einer spezifischen CAD-Modellierungs-Software (z.B. Autodesk 123D Catch, SketchUp, Blender, uvm.) selber gezeichnet und modelliert. Dies ist, abhängig vom Modell und den bisherigen Kenntnissen, mehr oder weniger zeitintensiv. Ist das 3D-Modell fertiggestellt, rechnet die Software das Modell in Schichten um (Slicing), welche anschliessend vom 3D-Drucker erstellt werden sollen.

- **Scannen eines Objektes mittels einem 3D-Scanner**

Mit einem 3D-Scanner wird das reale Objekt vollständig erfasst und als 3D-Modell in einer Software dargestellt. Die Software teilt das Modell ebenfalls in druckbare Schichten auf. Auf dem Markt gibt es verschiedene Arten von 3D-Scannern. Dies können festinstallierte Geräte, aber auch kleinere, durch den Benutzer geführte 3D-Scanner sein. Bereits im Jahr 2013 hat die ETH Zürich eine App vorgestellt, welche das Smartphone in einen 3D-Scanner verwandelt (Nägeli, 2013).

Ist das digitale 3D-Modell bereit für den Druck, wird es von der Software in Schichten aufgeteilt (Slicing), welche der 3D-Drucker umsetzen kann. Ist dieser Schritt erfolgt, wird das Modell dem 3D-Drucker übergeben. Falls die Möglichkeit besteht, ist anschliessend noch das am besten geeignete Druckverfahren auszuwählen. Diese Wahl ist jedoch abhängig von der zur Verfügung stehenden 3D-Drucker-Hardware. Nach dem 3D-Druck ist, abhängig vom eingesetzten 3D-Druck Verfahren und dem Objektaufbau, noch eine Nachbearbeitung notwendig.

Die nachstehenden Abbildungen in der Tabelle 5 verdeutlichen den Entstehungsprozess vom 3D-Modell zum fertig gedruckten Objekt. Hier ist das Ziel, ein spezielles Bauteil für eine Holzseilbahn zu erstellen, welche auf einen Duplo-Stein gesteckt werden kann.

		Das 3D-Modell wird am Computer erstellt (Bild links). Anschliessend rechnet die verwendete Software die zu druckenden Schichten aus (Bild rechts). Diese berechneten Schichten werden dem 3D-Drucker übermittelt.
		Der 3D-Drucker erstellt das Objekt Schicht um Schicht gemäss den übermittelten Daten. Eine Düse trägt dabei geschmolzenen Kunststoff auf. Insgesamt werden für den Aufbau gemäss der angegebenen Quelle rund 100 Schichten Kunststoff benötigt.
		Das gedruckte Objekt kann anschliessend verwendet werden. Allenfalls ist noch eine Nachbearbeitung der Oberfläche notwendig. Die Erstellung des hier gezeigten Objektes dauerte gemäss der angegebenen Quelle rund 45 Minuten. Es wurde ein Einstieger 3D-Drucker verwendet.

Tabelle 5: Veranschaulichung des 3D-Druckprozesses  
Quelle: Bilder und Informationen von HanCon (2017)

Schematisch sieht das Vorgehensmodell für die Fertigung mittels des 3D-Drucks, wie in der Abbildung 6 dargestellt, aus.

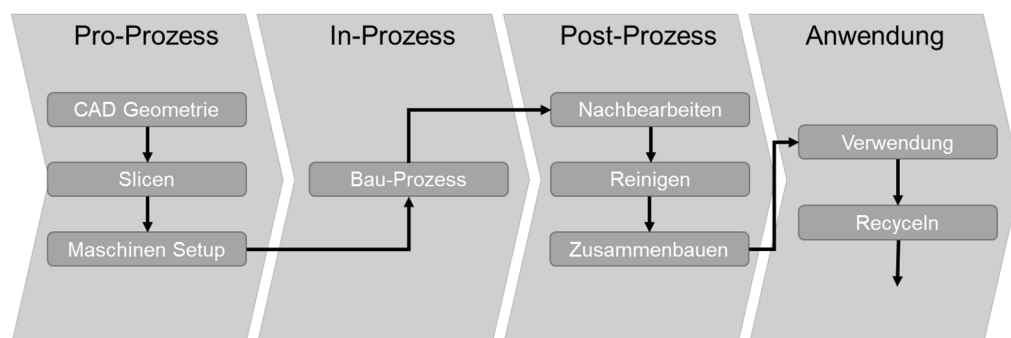


Abbildung 6: Vorgehensmodell zur Fertigung mittels 3D-Druck  
Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Lachmayer et al. (2016, S. 9)

## 5.2 Der 3D-Drucker

Die Auswahl an 3D-Druckern ist gross und unterliegt laufend Änderungen. So führt der Schweizer Online-Distributor Digitec.ch rund 61 verschiedene Modelle von 3D-Druckern (Stand Februar 2017) im Sortiment. Dabei gibt es günstige Modelle für einige hundert und Modelle für mehrere tausend Franken. Die industriellen 3D-Drucker sind hier nicht aufgeführt.

Die 3D-Drucker selber differenzieren sich im Wesentlichen über das zu verwendende Baumaterial, die 3D-Druck-Methode, die 3D-Druck-Auflösung und über die Dimensionen (Höhe, Breite und Tiefe), die der Drucker maximal erstellen kann.

Die nachstehende Abbildung 7 zeigt einen heute aktuellen 3D-Drucker Zortax M200 in der Front- und der Seitenansicht. Die Abbildung zeigt den üblichen Aufbau eines 3D-Druckers im Consumer-Bereich, bestehend aus einem Gehäuse, dem Bauraum, mit einer Bauplattform und einem Druck-Kopf (Extruder). Das hier verwendete Kunststoff-Filament, hier in hellblau, wird von einer Rolle an der Rückseite des Gehäuses zum Druck-Kopf geführt. Dieser 3D-Drucker kann für rund 2'000 Franken bei Digitec.ch erworben werden.

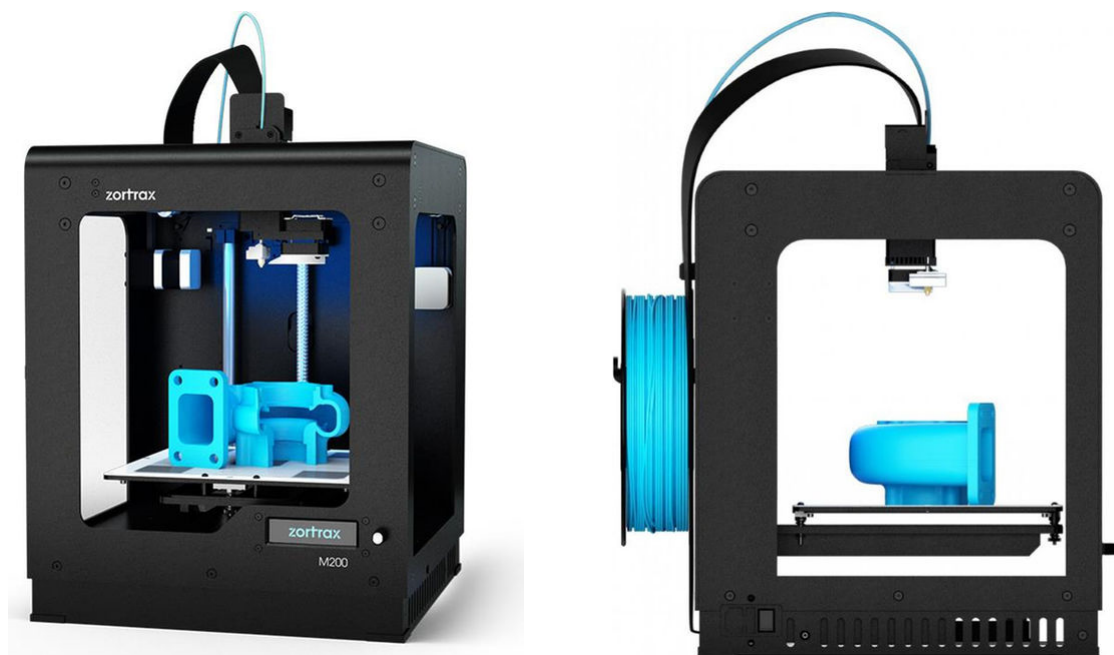


Abbildung 7: Darstellung eines Zortax M200 3D-Druckers  
Quelle: Digitec.ch (2017)

Auf die verschiedenen Ausprägungen der 3D-Drucker wird in dieser Arbeit nicht genauer eingegangen, da dies nicht im Fokus der Arbeit liegt. Ausserdem ist das Angebot laufenden Anpassungen ausgesetzt und stellt somit nur eine Momentaufnahme dar.



### 5.3 Beschreibung der aktuellen 3D-Druck-Methoden und -Materialien

Bei den 3D-Druckverfahren gibt es eine grosse Vielfalt. So listet Fastermann (2014, S. 25 ff.) insgesamt 16 verschiedene 3D-Druckverfahren und damit auch Technologien auf. Auch Feldmann und Pompe (2016, S. 6) führen insgesamt 17 verschiedene 3D-Druck-Prinzipien auf. Aus dieser Vielfalt von 3D-Druckverfahren lassen sich jedoch zwei wesentliche Verfahrensgruppen unterscheiden: Das "Bindeverfahren" und das Verfahren basierend auf "Abscheidungsprozessen" (Meisinger, 2016, S. 8). Diese beiden Verfahrensgruppen werden nachstehend anhand von ausgewählten Beispielen beschrieben.

Auf "Abscheidungsprozessen" basieren alle diejenigen Verfahren, die ein flüssiges Material in dünnen Schichten aufeinander auftragen. Dies kann z.B. eine dünne Kunststoffschicht sein, die vom Druckkopf, wie mit einer "Heissleim-Pistole", Schicht für Schicht aufgetragen wird. Dabei wächst das Gebilde stetig in die Höhe (Feldmann & Pompe, 2016). Je nach Art des Aufbaus sind auch Stützkonstruktionen notwendig, um beispielsweise Überhänge oder Hohlräume zu fixieren. Diese Stützkonstruktionen müssen nach der Fertigstellung des 3D-Drucks wieder entfernt werden.

Beim "Bindeverfahren" wird zuerst eine Schicht eines, zumeist pulverförmigen oder flüssigen Materials, ausgelegt. Diese Schicht wird anschliessend entweder mit einem Bindemittel verklebt oder mit einem Lichtstrahl (Laser, Elektronenstrahl) ausgehärtet oder verschmolzen. Hat das Material an den gewünschten Stellen die benötigte Festigkeit erreicht, wird eine weitere Schicht des Materials aufgetragen und anschliessend wieder ausgehärtet (Feldmann & Pompe, 2016).

Eine generelle Übersicht über die verschiedenen 3D-Druck-Methoden, Prinzipien und die verwendbaren Materialien ist in der nachstehenden Tabelle 6 zu finden.

Gruppe	Basis	Prinzip	Druckverfahren	Materialien
Schmelz-schichtung (Abscheidungs-prozess)	Geschmolzene Materialien	Schmelzschichtung	Fused Deposition Modeling (FDM) Fused Filament Fabrication (FFF) Fused Layer Modeling (FLM) Layer Plastic Deposition (LPD)	Kunststoffe (z.B. PET, Nylon) Kunststoffmischungen (z.B. Holz, Stein, Karbon, Kupfer)
Aushärten (Binde-verfahren)	Flüssige Materialien	Druckkopf	PolyJet (PJM) Multi-Jet Modeling (MJM) Wachsdruk (3DWP)	Kunsthharze, UV-sensitive Flüssigkunststoffe, Wachs
		Stereolithografie mit Laser	Stereolithografie (STL, SLA)	Kunsthharze, lichtempfindliche Flüssigkunststoffe, Epoxidharze, Elastomere, Acrylate
		Stereolithografie mit Maske	Digital Light Processing (DLP) Film Transfer Imaging (FTI)	
Aufschmelzen (Binde-verfahren)	Pulver	Sintern	Selektives Lasersintern (SLS) Selective Heat Sintering (SHS)	Kunststoffe, Metalle, Legierungen, Keramik
		Schmelzen	Selektives Laserschmelzen (SLM) Elektronenstahlschmelzen (EBM)	
Verkleben (Binde-verfahren)	Pulver, Papier	Schichten, Verkleben, Cutting	Laminated Object Modeling (LOM) Layer Laminated Manufacturing (LLM) Three Dimensional Printing (3DP)	Gips, Papier, Kunststoffe, Aluminium
Sonderformen	Diverse	Diverse	Contour Crafting (CC) etc.	Beton, Wachs, Teig, Silikon, Schokolade etc.

Tabelle 6: Überblick über die 3D-Druck-Methoden, -Prinzipien und -Materialien  
Quelle: In Anlehnung an Feldmann & Pompe (2016, S. 6)

In den folgenden Kapiteln wird der Prozess für die Erstellung eines Objekts aus dem 3D-Drucker, die 3D-Drucker Hardware selber und ausgewählte 3D-Druck-Verfahren genauer beschrieben. Das Ziel dabei ist es nicht, alle möglichen 3D-Drucker und -Verfahren akribisch aufzulisten und darzustellen, sondern der Fokus liegt auf den heute aktuellen und relevanten Modellen und Verfahren.

### 5.3.1 Stereolithografie (STL oder SLA)

Beim Verfahren der Stereolithografie wird ein Kunststoff (Polymer, Harz) verwendet, welcher unter der gezielten Bestrahlung mit Licht aushärtet. Das Licht muss dabei ein bestimmtes Spektrum aufweisen.

In einem Bad aus flüssigem Kunststoff (Polymerbad) befindet sich dabei eine Bauplattform. Diese senkt sich ab, wenn mit einem Laser eine Schicht des flüssigen Kunststoffes bestrahlt wurde. Der mit dem Laser bestrahlte Teil des Kunststoffes wird dabei fest und bildet eine Schicht des Bauteils. Nachdem sich die Bauplattform abgesenkt hat und der flüssige Kunststoff wieder geglättet wurde, wird die nächste Schicht mit dem Laser ausgehärtet, bis das fertige Bauteil vorliegt.

### Verwendbare Materialien

- Flüssige Kunststoffe (Polymere)
- Flüssige Kunstharze

Die Abbildung 8 zeigt schematisch die Komponenten der Stereolithografie. Dabei zeigt der linke Teil der Abbildung die am Erstellungsprozess beteiligten Elemente. Der rechte, kleinere Teil zeigt das fast fertig erstellte Bauteil (Kaffeebecher).

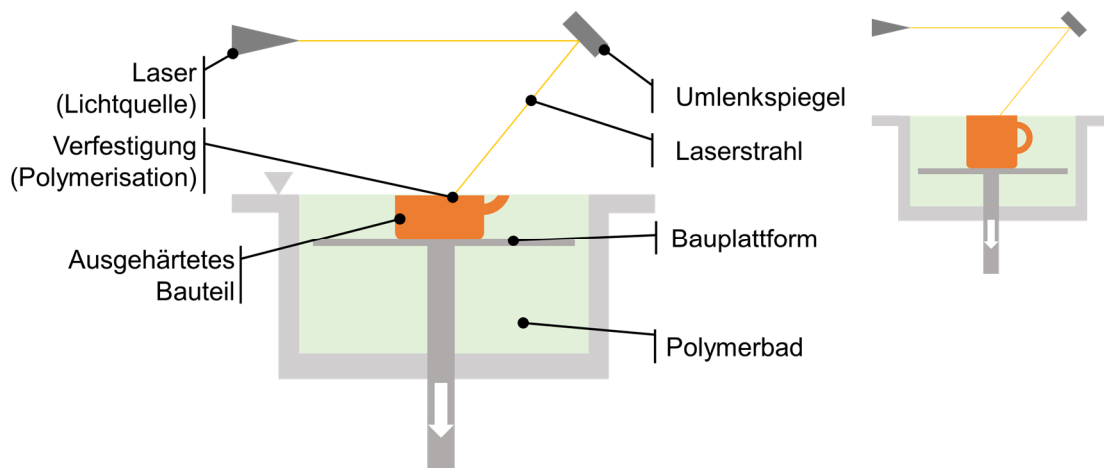


Abbildung 8: Schematische Darstellung der Stereolithografie und dessen Fortschritt  
Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Breuninger et al. (2013, S. 27)

### Vorteile der Stereolithografie

- Detaillierte und feine Oberflächen können erstellt werden.
- Es wird eine hohe Fertigungsgenauigkeit aufgrund des eingesetzten Lasers erzielt. Die Breite des Lichtstrahls ist dabei relevant.
- Transparente und in der Bauweise komplexe Bauteile sind möglich.

### Nachteile der Stereolithografie

- Die Auswahl der einsetzbaren Materialien ist beschränkt, da diese auf Licht reagieren müssen (photosensitiv). Ausserdem ist das Material aufgrund des negativen Einflusses von Tageslicht nur begrenzt haltbar.
- Die Belastbarkeit der fertigen Bauteile ist im Vergleich mit anderen Druckverfahren eingeschränkt (nur begrenzt thermisch belastbar).

- Bei freitragenden Bauteilen sind teilweise Stützkonstruktionen notwendig. Diese Stützkonstruktionen müssen in einem nachgelagerten Arbeitsschritt wieder entfernt werden, was den Arbeitsaufwand erhöht.
- Es können nur einfarbige Objekte erstellt werden.
- Generell ist der Arbeitsaufwand hoch, da staubfreie Räumlichkeiten benötigt werden.

Quelle der Vor- und Nachteile: Breuninger, Becker, Wolf, Rommel & Verl (2013, S. 27) und Fastermann (2014, S. 35)

Das Verfahren wurde 1983 von Chuck Hull erfunden und ist somit das am längsten bekannte und verwendete 3D-Druckverfahren. Damals wurde ein kleiner Becher gedruckt. Dieser Becher war das erste Objekt, welches überhaupt mittels 3D-Druck kreiert wurde (3D Systems, 2014). Da der 3D-Druck jedoch zeitintensiv ist und die Materialkosten hoch sind, ist die Stereolithografie im Vergleich eines der teureren 3D-Druckverfahren (Fastermann, 3D-Drucken - Wie generative Fertigungstechnik funktioniert, 2014, S. 36).

### **5.3.2 Selektives Lasersintern (SLS)**

Beim Selektiven Lasersintern (SLS) wird anstelle einer Flüssigkeit ein feinkörniges Pulver (es kann sich dabei um verschiedene Materialien wie Kunststoff, Keramik etc. handeln) verwendet. Das Pulver wird mittels eines Laserstrahles gezielt erhitzt und dadurch verschmolzen. Hat das Pulver die benötigte Festigkeit erreicht, senkt sich die Bauplattform um einen Bruchteil eines Millimeters ab und eine neue Pulverschicht wird aus dem Pulvervorrat mit einem Schieber (Beschichter) aufgetragen. Dieses Vorgehen wiederholt sich, bis das Bauteil vollständig erstellt wurde. Das überschüssige Pulver kann mehrheitlich wieder verwendet werden (Breuninger, Becker, Wolf, Rommel, & Verl, 2013).

Das Besondere an diesem Verfahren ist, dass der Bauraum im 3D-Drucker aufgeheizt werden muss, damit die Temperatur des Pulvers knapp unterhalb des Schmelzpunktes liegt. Dadurch muss der Laserstrahl nur eine leichte Temperaturerhöhung erzeugen, um den Schmelzpunkt des Materials zu erreichen (Lachmayer, Lippert, & Fahlbusch, 2016).

#### **Verwendbare Materialien**

- Kunststoffe und glasfasergefülltes Polyamid (PA-GF)
- Alumide (Mischung aus Aluminium- und PA-Pulver)

Die Abbildung 9 zeigt das Schema des Drucker-Baumraums des Selektiven Lasersinterns. Aus dem Pulvervorrat wird dabei Schicht um Schicht aufgetragen. Die Bauplattform bewegt sich dabei beim Auftragen jeder Schicht nach unten. Mit dem Laser wird das Pulver gezielt verfestigt. Zuviel aufgetragenes Pulver wird in den Pulverabwurf verschoben.

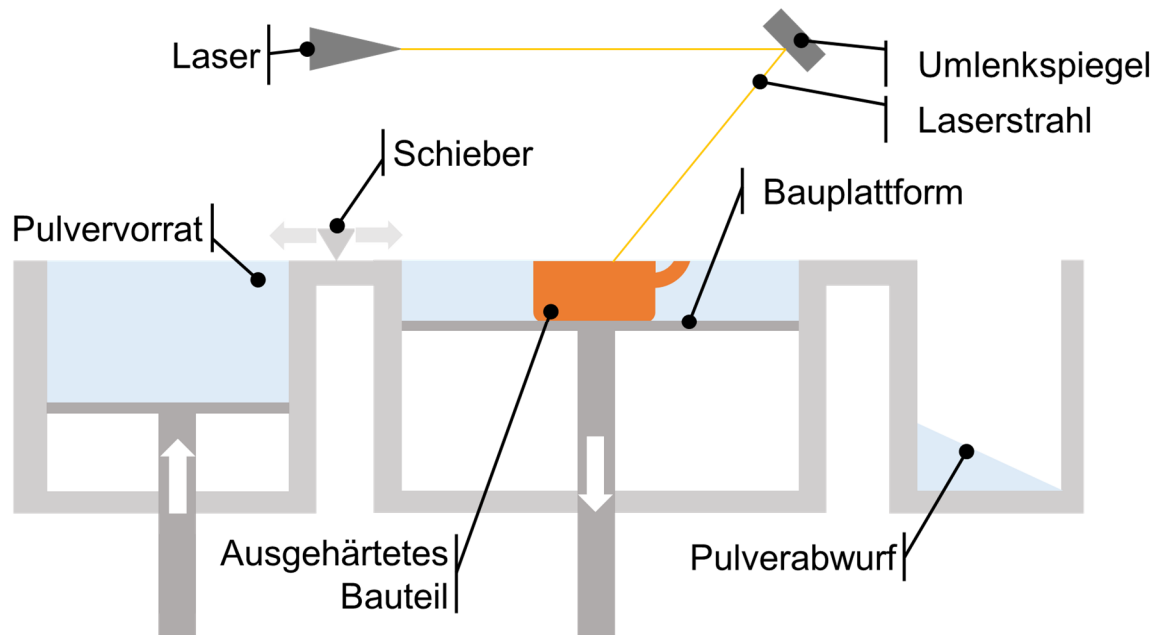


Abbildung 9: Schematische Darstellung des Druckers für Selektives Lasersintern  
Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Lachmayer et. al (2016, S. 22)

### Vorteile des Selektiven Lasersinters

- Es gibt eine grosse Auswahl an verschiedenen Kunststoffen. Die mechanische Belastbarkeit der fertig gedruckten Bauteile ist gut.
- Das Verfahren benötigt keine Stützkonstruktionen, da das Pulver freischwebende Teile während des Drucks stützt. Auch können einzelne Elemente, abhängig vom eingesetzten Laser, sehr nahe beieinanderliegen.
- Das übrig gebliebene Kunststoff-Pulver kann wiederverwendet werden. Generell ist das Selektiven Lasersintern im Vergleich zu anderen Verfahren kostengünstiger.

### Nachteile des Selektiven Lasersinters

- Durch die Körnigkeit des Kunststoffpulvers entsteht eine raue Oberfläche der Bauteile.
- Bei hohlen oder filigranen Bauteilen muss das Kunststoff-Pulver nach dem Druck entfernt werden. Dies kann, je nach Aufbau des Bauteils, mit einem hohen Reinigungsaufwand verbunden sein.
- Beim Schmelzen des Pulvers können, abhängig von der verwendeten Pulver-Art, giftige Gase entstehen.

Quelle der Vor- und Nachteile: Breuninger et al. (2013) und Lachmayer et al. (2016)

Die Technologie des Selektiven Lasersintern wurde Mitte der 1980er-Jahre an der University of Texas in Austin (USA) durch Carl Deckard und Joe Beaman entwickelt und patentiert. Die Technologie wurde an die Firma DTM (DeskTop Manufacturing) lizenziert, welche im Verlaufe der Jahre mehrere Maschinengenerationen baute. Im Jahr 2001 wurde DTM an die Firma 3D-

Systems verkauft, welche aktuell zu den Markführern im Bereich der Additiven Fertigung zählt (Schmid, 2015, S. 9).

### **5.3.3 Selektives Laserschmelzen (SLM)**

Das Selektive Laserschmelzen (Selective Laser Melting, SLM) ist praktisch identisch mit dem im vorhergehenden Kapitel 5.3.2 beschriebenen Selektiven Lasersintern. Der Unterschied zwischen diesen beiden Methoden liegt beim verwendeten Pulver: Beim Laserschmelzen kommt unter anderem ein Metallpulver zur Anwendung. Dieses wird wiederum mit einem Laser Schicht für Schicht erhitzt und geschmolzen. Die Bauplattform bewegt sich dabei ebenfalls schichtweise nach unten (Breuninger, Becker, Wolf, Rommel, & Verl, 2013, S. 32).

#### **Verwendbare Materialien**

- Metalle (z.B. Aluminium, Edel- und Werkzeugstahl, Legierungen oder Titan)
- Kunststoffe
- Keramiken

#### **Vorteile des Selektiven Laserschmelzens**

- Es sind keine Stützkonstruktionen erforderlich.
- Das Restmaterial (Pulver) kann wiederverwendet werden.
- Die Stabilität und die Festigkeit sind sehr hoch und vergleichbar mit traditionell gegossenen Bauteilen.

#### **Nachteile des Selektiven Laserschmelzens**

- Die Oberfläche ist rau aufgrund des verwendeten Pulvers.
- Es wird eine Schutzatmosphäre benötigt für das Schmelzen, was zusätzliche Vorkehrungen, wie z.B. eine Lüftung, voraussetzt.
- Die Bauplattform muss nach jedem Druck-Durchgang glattgefräst werden, da das Metall darauf geschmolzen wird.

Quelle der Materialien und der Vor- und Nachteile: Breuninger et al. (2013, S. 32)

### **5.3.4 Fused Deposition Modeling (FDM)**

Das Fused Deposition Modeling (FDM) Verfahren, alternativ auch unter dem Begriff Fused Layer Modeling (FLM) oder Fused Filament Fabrication (FFF) bekannt (der Begriff FDM ist durch die Firma Stratasys patentrechtlich geschützt), kommt in den meisten 3D-Druckern im Privatkunden-Bereich zur Anwendung. Auch das in der Abbildung 7 dargestellte Modell eines 3D-Druckers verwendet dieses Verfahren (Meisinger, 2016, S. 8).

Bei diesem Verfahren können nur Materialien verwendet werden, welche beim Erhitzen weich, respektive formbar werden. Dies sind z.B. thermoplastische Kunststoffe wie Acrylnitril-Butadien-Styrol (ABS) oder Polyactide (PLA), aber auch andere Materialien wie Modellierwachs oder Schokolade können verwendet werden (König, 2015). Das Material liegt normalerweise als Kunststoffdraht, auch Filament genannt, vor, welcher über den Druck-Kopf (Extruder) elektrisch erwärmt und damit formbar gemacht wird. Das formbare Material wird vom Druck-Kopf mittels einer Düse auf die Bauplattform aufgetragen. Abhängig vom 3D-Drucker-Modell bewegt sich dabei entweder der Druck-Kopf oder die Bauplattform in den X- und Y-Achsen. Sobald die aufgetragene Kunststoff-Schicht genügend ausgehärtet ist, wird die nächste Schicht aufgetragen. Dazu bewegt sich die Bauplattform nach unten (Z-Achse). Verfügt der 3D-Drucker über mehrere Düsen am Druck-Kopf, können auch mehrfarbige Objekte erstellt werden (Nickel, 2015, S. 17).

### Verwendbare Materialien

- Formwaxe und Thermoplaste (Kunststoffe)  
(Polyethylen, Polypropylen, Polylactid, ABS oder PETG)

Die Abbildung 10 zeigt die schematisch die Funktionsweise eines FDM Druckers. Der Druck-Kopf (Extruder) bewegt sich dabei auf den X- und Y-Achsen, während sich die Bauplattform Schicht für Schicht auf der Z-Achse nach unten bewegt.

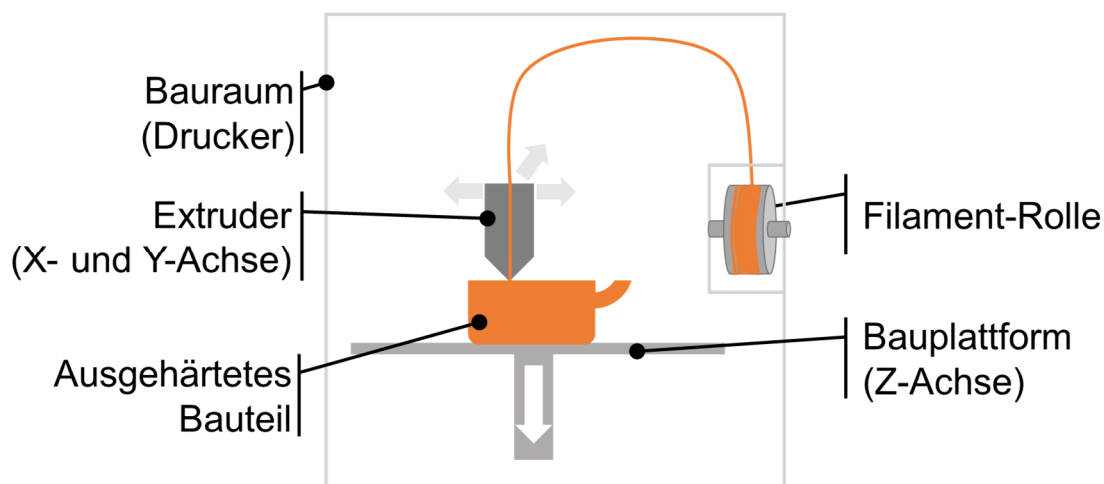


Abbildung 10: Schema des Fused Deposition Modeling Verfahrens  
Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Breuninger et al. (2013, S. 32)

Bei diesem Verfahren ist es notwendig, bei grösseren Überhängen oder bei anfangs überhängenden Elementen mit Stützstrukturen zu arbeiten, da die aufgetragene Kunststoff-Schicht nicht sofort abkühlt und aushärtet. Die Abbildung 11 zeigt exemplarisch am Beispiel eines Dinosauriers auf, wie Stützstrukturen im 3D-Druck eingesetzt werden.



Abbildung 11: Stützstrukturen beim Fused Deposition Modeling  
Quelle: Kolossos (2016)

Die Stützstrukturen müssen nach der Fertigstellung des Objekts entfernt werden. Dies macht das Drucken von komplexen Strukturen teurer, da zusätzliches Material für die Stützstrukturen benötigt wird und diese nachträglich manuell entfernt werden müssen. Bei 3D-Druckern mit mehreren Druck-Köpfen können für die Stützstrukturen wasserlösliche Materialien (z.B. Polyvinylacetat PVA) verwendet werden. Dies wiederum vereinfacht die Nachbearbeitung (Hagl, 2015, S. 27).

### **Vorteile des Fused Deposition Modeling**

- Der Anschaffungspreis für die Maschinen ist im Vergleich tief und kommt somit auch im Privatkunden-Bereich zum Einsatz.
- Die verwendeten Materialien wie ABS sind ungefährlich und somit "bürotauglich".
- Mit wasserlöslichen Stützstrukturen kann der Aufwand der Nachbearbeitung reduziert werden.

### **Nachteile des Fused Deposition Modeling**

- Für kleinere und komplexere Strukturen ist diese Druck-Methode eher ungeeignet, da die Druck-Köpfe über relativ grosse Durchmesser bei den Düsen verfügen müssen. Dadurch können auch Ungenauigkeiten entstehen. Auch ist die Qualität der Oberfläche im Vergleich mit anderen Druck-Methoden schlechter.
- Die Nachbearbeitung ist mit Aufwand verbunden und damit teuer.
- Das Material ist im Vergleich zum Lasersintern teurer.
- Die Belastbarkeit des Materials ist vor allem in Baurichtung (normalerweise die Z-Achse) eingeschränkt. Es können sich bei erhöhter Belastung die aufgetragenen Schichten trennen.



Quelle der Vor- und Nachteile: Breuninger et al. (2013, S. 33)

Das Fused Deposition Modeling (FDM) wurde 1988 durch Scott Crump erfunden. Ein Jahr später wurde von Scott Crump, zusammen mit seiner Frau, die Firma Stratasys gegründet, welche heute zu den führenden Unternehmen im Bereich des 3D-Drucks gehört (Molitch-Hou, 2014).

### **5.3.5 3D-Drucken mit Pulver (3DP)**

Die Kurzform 3DP bedeutet ausgeschrieben "Three Dimensional Printing" und ist ein generalisierter Begriff im Bereich des 3D-Drucks. Anstelle von 3DP könnte diese Methode auch "Inkjet 3D Printing" genannt werden, da die Methode Ähnlichkeiten mit heutigen Tintenstrahldruckern besitzt (Horsch, 2014, S. 146).

Die 3DP-Druck-Methode funktioniert ähnlich wie das Selektive Lasersintern SLS. Jedoch wird anstelle eines Lasers ein Druck-Kopf verwendet, welcher winzige Tröpfchen von Bindemittel (eine Art Leim) auf die Pulverschichten abgibt. Das Pulver wird an diesen Stellen miteinander verklebt. Daraus entsteht am Schluss das gewünschte Druck-Objekt. Bei dieser 3D-Druck-Methode wird keine Wärme benötigt, da das Pulver nicht geschmolzen werden muss (Horsch, 2014, S. 146).

Ein Vorteil der 3DP-Methode ist die Möglichkeit, dass das Bindemittel beim Druck beliebig eingefärbt werden kann. Dadurch können vollfarbige 3D-Druck-Objekte erstellt werden. Dies funktioniert ähnlich wie bei einem normalen Tintenstrahldrucker, bei welchem aus den Grundfarben die gewünschte Farbe zusammengemischt wird.

Um die mechanische Belastbarkeit der gedruckten Objekte zu verbessern, können diese Objekte nach der Fertigstellung mit Epoxidharz oder Klebstoff nachbehandelt werden.

Anstelle von Kunststoffpulver kann auch ein Metall- oder Keramikpulver verwendet werden, um z.B. Gussformen herzustellen. Der Binder wird dabei während der Nachbearbeitung ausgebrannt (Breuninger, Becker, Wolf, Rommel, & Verl, 2013).

Der aktuell weltgrösste Industrie-3D-Drucker setzt ebenfalls die 3DP-Methode ein. Der VX4000 Drucker von Voxeljet hat einen Bauraum von 4x2x1 Meter und kann damit sehr grosse und schwere Objekte herstellen. Dabei werden anstelle von Kunststoffpulver verschiedene Sorten von Sand verwendet. Dies ermöglicht es, z.B. grosse Metall-Gussformen auf einfache Weise herzustellen (Voxeljet, 2017).

Die folgende Abbildung 12 zeigt den Aufbau eines 3DP-Druckers. Im Vergleich zum Selektiven Lasersinter (SLS) wird anstelle eines Lasers ein Bindemittel, welches eingefärbt werden kann, verwendet.

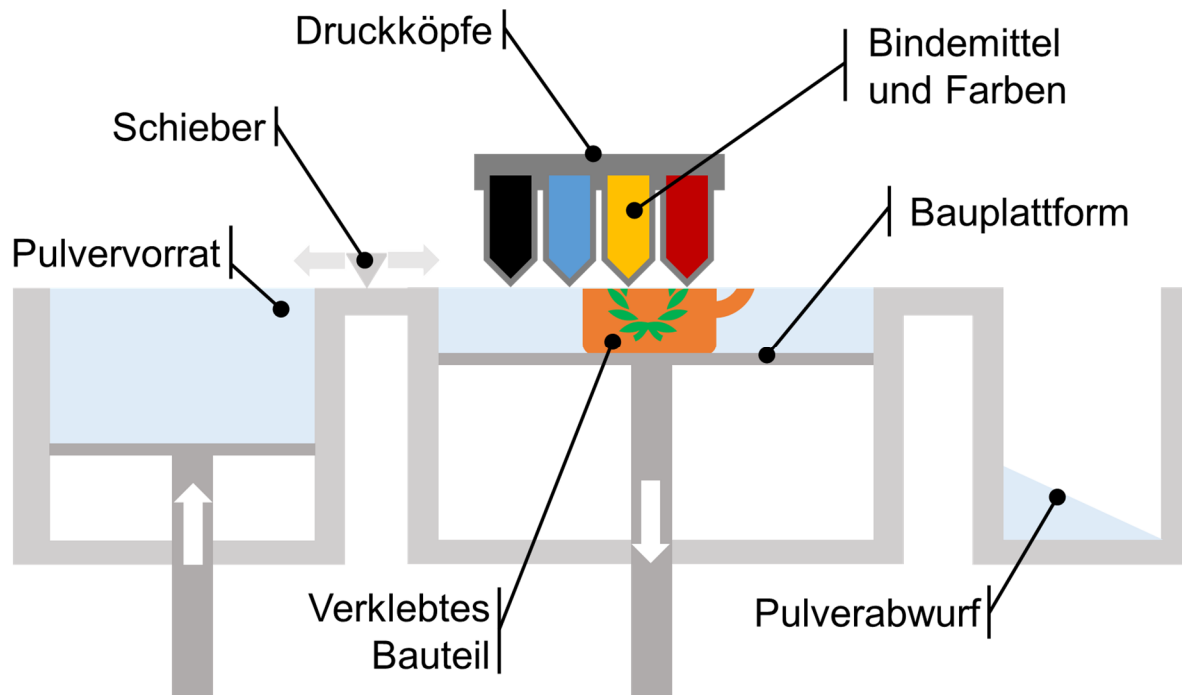


Abbildung 12: Schema der 3DP-Druck-Methode  
Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Breuninger et al. (2013, S. 28)

### Vorteile von 3DP

- Das Drucken von vollfarbigen Objekten ist möglich.
- Das nicht benötigte Pulver kann wiederverwertet werden. Ebenso sind keine Stützkonstruktionen notwendig, da in einem Pulverbett gearbeitet wird.

### Nachteile von 3DP

- Aufgrund des eingesetzten Pulvers entstehen raue, körnige Oberflächen. Falls dies störend ist, muss das Druckobjekt nachbehandelt werden.
- Die erstellten Objekte sind instabil und brüchig. Eine Nachbehandlung mit Harz oder Klebstoffen ist daher notwendig.

Quelle der Vor- und Nachteile: Breuninger et al. (2013, S. 29)

Die 3DP-Druck-Methode wurde am Massachusetts Institute of Technology (MIT) entwickelt und kurze Zeit später an einzelne Firmen für kommerzielle Zwecke lizenziert (Hagl, 2015, S. 29).

## 5.3.6 Laminated Object Manufacturing (LOM)

Diese 3D-Druck-Methode wird auch Folienlaminier-3D-Druck genannt und ist eine sehr frühe Art des 3D-Drucks. Das zu druckende Objekt wird schichtweise aus einer Folie heraus aufgebaut, in dem die Folie über das Objekt gespannt und darauf laminiert wird. Anschliessend wird

die Objekt-Form mit einem Messer oder einem Laser entsprechend zugeschnitten. Anschließend kann die nächste Schicht auflaminiert werden. Das Laminat wird bei diesem Vorgehen fast vollständig aufgebraucht und kann nicht wiederverwendet werden. Ebenso muss das überschüssige Material nach dem Druck entfernt werden (Fastermann, 2014, S. 39).

### Verwendete Materialien

- Papier
- Keramik
- Kunststoff
- Aluminium (eher selten)

Die folgende Abbildung 13 zeigt die Funktionsweise eines Laminated Object Manufacturing Druckers. Dabei schneidet der Laser pro Schicht das Laminat am korrekten Punkt durch, damit das gewünschte Objekt am Schluss aus dem Laminat extrahiert werden kann. Das Bauteil hat bei diesem Vorgang normalerweise dabei die gleiche Farbe wie das Laminat. Auf dieses Detail wurde beim untenstehenden Schema bewusst verzichtet.

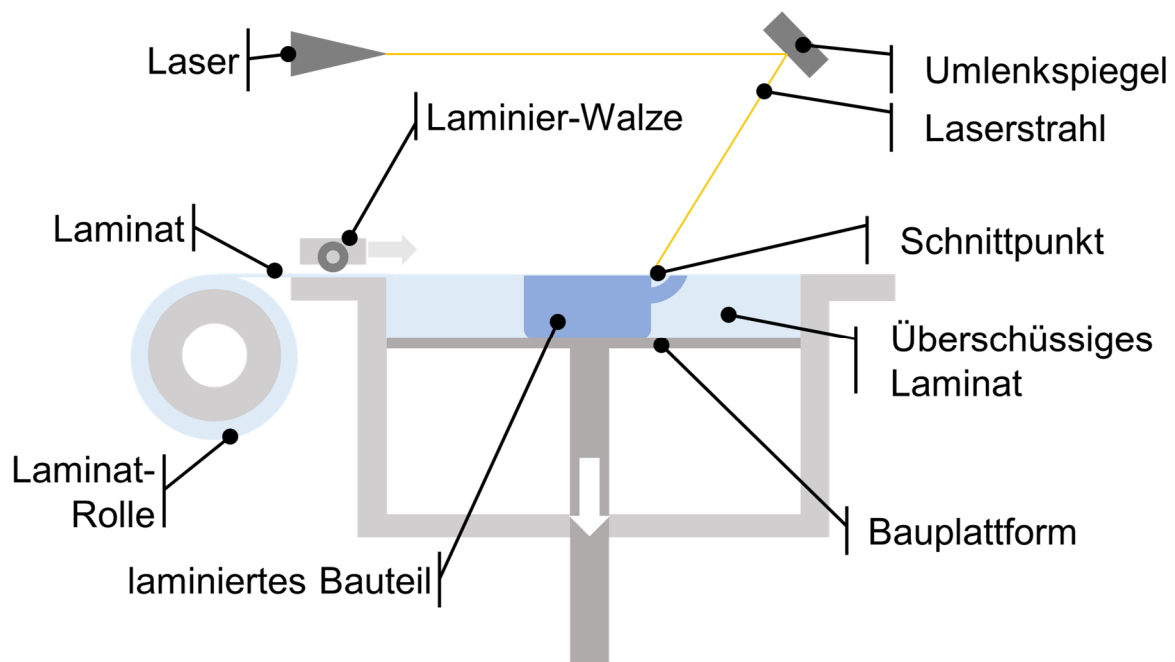


Abbildung 13: Schema der LOM-3D-Druck-Methode  
Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Breuninger et al. (2013, S. 36)

### Vorteile von Laminated Object Manufacturing

- Das Verfahren ist, wenn z.B. mit Papier gearbeitet wird, sehr preisgünstig.
- Die Auflösung der gedruckten Objekte ist recht hoch.

### Nachteile von Laminated Object Manufacturing

- Eine Nachbearbeitung ist notwendig, da das überflüssige Material entfernt werden muss.

- Dünne Objekte können nur bedingt hergestellt werden.
- Das überschüssige Material kann nicht wiederverwendet werden.

Quelle der Vor- und Nachteile: Fastermann (2014, S. 40) und Breuninger et al. (2013, S. 36 ff.)

Die Laminated Object Modeling (LOM) 3D-Druck-Methode wird kaum weiterentwickelt und gilt als veraltet. Jedoch wurde ein Nachfolger, die Selective Deposition Lamination (SDL), entwickelt, welche auf dem Prinzip von LOM aufbaut. Die neuere SDL-Methode verwendet als Grundstoff Papier, welches vor der Laminierung eingefärbt wird (inkl. Schnittkanten). Dies macht somit das Drucken von farbigen Objekten möglich. Gerade im Bereich des Prototypen- und im Design- oder Architekturmodellbaus macht diese Methode Sinn, denn das eingesetzte Material Papier ist kostengünstig und kann, wenn das Objekt nicht mehr benötigt wird, problemlos entsorgt werden. Das laminierte Papier ist ausserdem sehr stabil und muss nicht nachträglich behandelt werden. Ein Nachteil ist, dass das Papier aus unerwünscht entstandenen Hohlräumen nicht entfernt werden kann (Fastermann, 2014, S. 40 ff.).

### **5.3.7 Zusammenfassung über die 3D-Druck-Methoden**

Eine Auswahl von 3D-Druckmethoden wurden obenstehend beschrieben. Diese Auswahl ist nicht abschliessend, soll aber die wesentlichen Prinzipien des 3D-Drucks versinnbildlichen.

Die heute vor allem im Consumer-Bereich anzutreffenden 3D-Drucker basieren mehrheitlich auf der Fused Deposition Modeling Methode (FDM) und arbeiten mit Filament aus Kunststoff. Die meisten der 3D-Drucker bieten nicht die Möglichkeit, mehrfarbige Objekte zu drucken und es werden keine hohen Temperaturen benötigt.

Im Unternehmensbereich gibt es mehrere 3D-Druck-Methoden, welche mit einer Vielzahl unterschiedlicher Materialien umgehen können. Das Spektrum reicht hier von Papier über Kunststoff bis hin zu edlen Metallen wie z.B. Titan. Gerade bei den Kunststoffen gibt es diverse Ausprägungen in der Festigkeit (schlagfest, biegsam, gummiartig etc.), im Aussehen (transparent, ein- und mehrfarbig etc.) und bei den Zusatzfähigkeiten (bioverträglich, hitzebeständig etc.), welche viele Anwendungsmöglichkeiten eröffnen (Stratasys, 2017). Solche Drucker stellen teilweise erhöhte Anforderungen an ihre Umgebung (Lüftung etc.), arbeiten mit hohen Temperaturen und benötigen aufgrund ihrer Dimensionen viel Platz.

Generell bietet der 3D-Druck im Bereich der Gestaltungsmöglichkeiten und der Komplexität einige Vorteile gegenüber den herkömmlichen Herstellungsmethoden. So können Objekte mit Hohlräumen oder, in Abhängigkeit der gewählten 3D-Druck-Methode, sogar mit freischwebenden Teilen gedruckt werden.

Im Vergleich zum CNC-Fräsen kann beim 3D-Druck der Materialverbrauch reduziert werden, da dieser Vorgang additiv (aufbauend) ist und das finale Objekt nicht aus einem einzigen Material-Block herausgearbeitet wird (auch subtraktives Arbeiten genannt). Zudem ist das CNC-Fräsen aufgrund der hohen Geschwindigkeiten gefährlicher als der 3D-Druck.

Ein Nachteil des 3D-Druckens ist die Oberflächenqualität, welche aufgrund des schichtweisen Aufbaus entsteht und oft auf den gedruckten Objekten sichtbar ist. Dieser Nachteil tritt jedoch vor allem bei Druckern in der Heimanwendung auf, professionelle Anlagen erreichen meist eine sehr gute Oberflächenqualität für die gedruckten Objekte (Fastermann, 2017).

Die zusammengefassten technischen Vor- und Nachteile des 3D-Drucks sind in der folgenden Tabelle 7 aufgeführt. Die Basis dazu bilden die in den vorhergehenden Kapiteln zu den 3D-Druck-Methoden aufgeführten Punkte.

Vorteile des 3D-Drucks	Nachteile des 3D-Drucks
Design-Freiheiten: Der 3D-Druck erlaubt die Erstellung von annähernd jeder Form. Auch komplexe Konstruktionen mit Hohlräumen können gedruckt werden.	Oberflächenqualität: Der schichtweise Aufbau und die Verwendung von Pulver als Ausgangsmaterial erzeugen teilweise raue Oberflächen.
Materialeinsparungen: Der Materialverbrauch ist im Vergleich zu herkömmlichen Methoden geringer, da das Material oftmals wiederverwendet werden kann. Dies hat auch positive Auswirkungen auf die Kosten.	Mechanische Belastbarkeit: In Abhängigkeit der verwendeten 3D-Druck-Methode und des Materials ist die Belastbarkeit eingeschränkt und muss bereits beim CAD-Entwurf berücksichtigt werden.
Einfacher Erstellungsprozess: Objekte können in kurzer Zeit gedruckt und verwendet werden. Es gibt ausserdem bereits viele frei verfügbare CAD-Vorlagen online.	Nachbearbeitung: Eine Nachbearbeitung der gedruckten Objekte ist, in Abhängigkeit zu den Anforderungen, oftmals notwendig.
Erstellung mehrfarbiger Objekte: In Abhängigkeit der gewählten Methode können mehrfarbige Objekte gedruckt werden.	Grössenbeschränkung: Die Grösse des 3D-Druckers gibt die Dimensionen des 3D-Druck-Objektes vor.

Tabelle 7: Die technischen Vor- und Nachteile des 3D-Drucks zusammengefasst  
Quelle: Eigene Darstellung

Die unterschiedlichen 3D-Druck-Methoden, welche die Verarbeitung von einer grossen Palette von Materialien erlaubt, werden heute bereits gezielt in ausgewählten Bereichen eingesetzt. Es kann erwartet werden, dass sich diese Technologie stetig weiterentwickeln und eine breite Verwendung finden wird. Führende Unternehmen, wie 3D Systems oder StrataSys, bieten bereits heute hoch entwickelte 3D-Drucker-Systeme und Druck-Materialien für den professionellen (und privaten) Einsatz an, welche in unterschiedlichen Anwendungsfeldern eingesetzt werden. Auf diese Anwendungsfelder wird in den folgenden Kapiteln eingegangen.

## 5.4 Aktuelle Anwendungsfelder des 3D-Drucks

Der 3D-Druck und die verschiedenen Druck-Methoden werden in unterschiedlichen Anwendungsfeldern eingesetzt. Die untenstehende Abbildung 14 zeigt die Anwendungsfelder, in welchen der 3D-Druck bereits heute eingesetzt wird. Diese Liste gibt einen Überblick und ist nicht

abschliessend, denn die Einsatzmöglichkeiten des 3D-Drucks sind beinahe unbegrenzt. Ausgewählte Anwendungsfelder werden anschliessend beschrieben und mit Beispielen unterlegt.

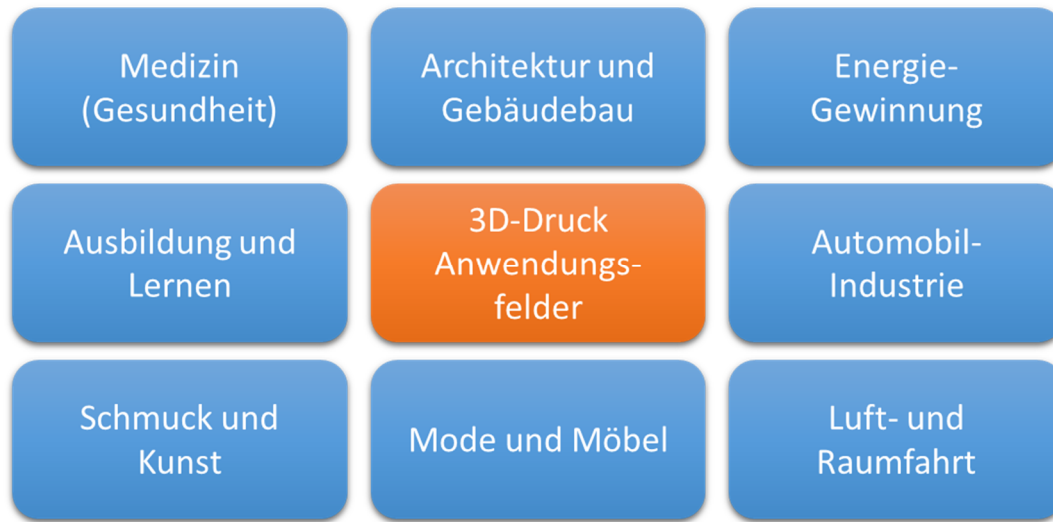


Abbildung 14: Aktuelle Anwendungsfelder des 3D-Drucks

Quelle: Eigene Darstellung, Inhalt auf der Grundlage von Hagl (2015, S. 42 ff.) und Fastermann (2014, S. 93 ff.)

#### 5.4.1 Architektur und Gebäudebau

Im Bereich der Architektur und des Gebäudebaus wird der 3D-Druck aktuell in zwei Anwendungsfeldern eingesetzt. Das erste Anwendungsfeld ist der Modellbau. Dank dem 3D-Druck können Gebäude-Modelle detailliert hergestellt und auch zu grösseren Übersichten zusammengefügt werden. Als Baumaterialien werden meistens Kunststoff oder Gips eingesetzt.

Gebäude, welche durch die Architekten am Computer mittels CAD erstellt wurden, können mit Hilfe des 3D-Drucks im verkleinerten Massstab detailgetreu erstellt werden. Diese Modelle dienen der Präsentation, aber auch um zu prüfen, ob ein Gebäude in seine angedachte Umgebung passt. Da die Gebäudepläne oftmals digital vorliegen, können diese Pläne für einen 3D-Druck aufbereitet werden. Zusätzlich können Modelle mit dem 3D-Druck auch von innen dargestellt werden (Rapidobject, 2015). Die Vorteile des 3D-Drucks im Bereich der 3D-Modelle in der Architektur zeigen sich, im Vergleich zur klassischen Herstellung von Modellen, in der Herstellungszeit, den Herstellungskosten und auch bei den flexibleren Gestaltungsmöglichkeiten (Sievers, 2016).

Die Abbildung 15 zeigt das Modell eines Gebäudekomplexes, welches mit einem 3D-Drucker hergestellt wurde. Bei genauerer Betrachtung ist der schichtweise Aufbau erkennbar. Die Kuppel in der Abbildung 16 wurde ebenfalls mit einem 3D-Drucker erstellt. Hier ist der Innenraum sichtbar, was mit klassischen Modellierungs-Techniken schwer in einem Stück zu realisieren ist. Beide Abbildungen wurden aus Kunststoff erstellt.



Abbildung 15: Modell eines Gebäudekomplexes aus dem 3D-Drucker  
Quelle: Rapidobject (2015)

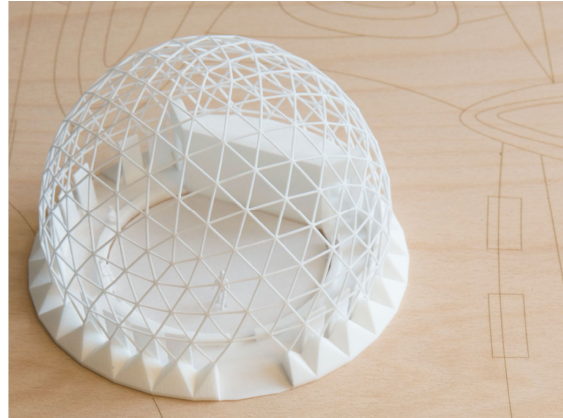


Abbildung 16: 3D-Modell einer Kuppel  
Quelle: Rapidobject (2015)

Das zweite Anwendungsfeld ist der Druck von Bauelementen, Strukturen oder sogar von fertigen Gebäuden.

So wurde in Dubai im Jahr 2016 ein Haus mit 250 m<sup>2</sup> Nutzfläche erstellt, dessen Einzelteile ausgedruckt und anschliessend zusammengebaut wurden. Das fertige Haus ist in der Abbildung 17, links vorne, dargestellt. Auch die Inneneinrichtung und die Möbel stammen aus dem 3D-Drucker. Der Druck selber dauerte 17 Tage, das Zusammenbauen der Elemente anschliessend weitere zwei Tage. Das ganze Haus war damit innerhalb von drei Wochen fertiggestellt. Verwendet wurde dazu ein 36.6 x 12.2 x 6 Meter grosser 3D-Drucker, welcher eine spezielle Betonmischung, glasfaserverstärkten Gips und faserverstärkten Kunststoff Schicht für Schicht aufbaute. Im Vergleich zum konventionellen Hausbau findet sich bei dieser Bauweise nebst der schnelleren Erstellung ein weiterer Vorteil im tieferen Personalbedarf. Ebenso ist der Materialverschleiss geringer, da weniger Material weggeworfen werden muss. Der Bau des gedruckten Hauses kostete rund \$140'000.--, jedoch ohne die Innen- und Aussengestaltung (Bexten, 2016).

In Amsterdam und in China wurden ebenfalls Gebäude aus dem 3D-Drucker erstellt. Während das Haus in Amsterdam aus wiederverwertetem Kunststoff gebaut wurde, verwendete die Firma WinSun in China Beton (Swiss Life Immopulse, 2015). Auch hier wurde ein entsprechend grosser Drucker eingesetzt, wie es die Abbildung 18 schematisch darstellt.

Es können aber auch nur einzelne Bauelemente oder auch Skulpturen aus Beton gedruckt werden. Der generelle Begriff für das Schicht-für-Schicht Drucken von Bauelementen oder ganzen Gebäude wird Contour Crafting (CC) genannt. Wie dies aussieht, zeigen Abbildung 19 und Abbildung 20, in welchen der schichtweise Aufbau klar erkennbar ist. Diese 3D-Druck-Methode wurde an der University of Southern California in Los Angeles entwickelt (Fastermann, 2012, S. 125 ff.).





Abbildung 17: Haus in Dubai aus dem Drucker  
Quelle: Bexten (2016)

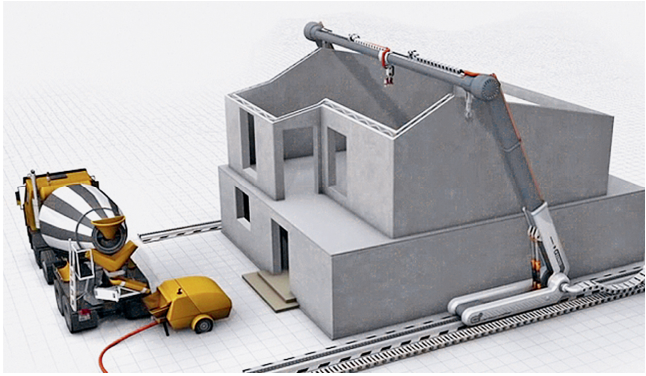


Abbildung 18: Bau eines Hauses aus dem 3D-Drucker  
Quelle: Swiss Life Immopulse (2015)

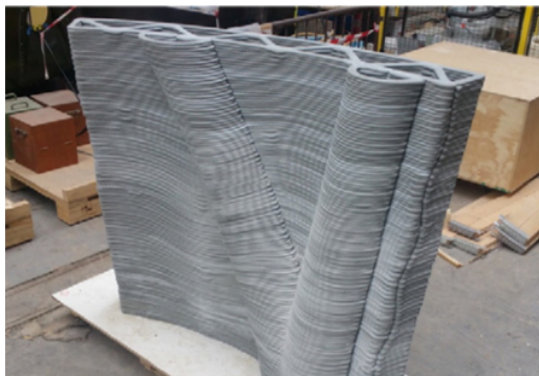


Abbildung 19: Beton-Wand aus dem 3D-Drucker  
Quelle: Gosselin et al. (2016)



Abbildung 20: Aufbau der Beton-Wand  
Quelle: Gosselin et al. (2016)

Für den Bereich Architektur und Gebäudebau konnten die folgenden Anwendungsfelder für den 3D-Druck identifiziert werden:

- **Modellbau:** Der 3D-Druck vereinfacht die Erstellung von massstabgetreuen Modellen. Das Erstellen von Modellen ist eine Art Prototyping in Bezug auf den Gebäudebau.
- **Der Druck von Bauelementen, Strukturen oder ganzen Gebäuden:** Diese Art von 3D-Druck wird auch Contour Crafting (CC) genannt und ermöglicht es, mit überdimensionalen 3D-Druckern ganze Häuser oder Bauteile zu erstellen.

Als Druck-Materialien werden im Modellbau vorwiegend Kunststoff oder Gips eingesetzt, beim Contour Crafting (CC) sind es spezielle Beton-Mischungen.

## 5.4.2 Automobil-Industrie

Die Automobil-Hersteller unterliegen einem grossen Wettbewerbsdruck, denn neben den grossen treten vermehrt kleinere, neue Mitspieler wie z.B. Tesla in den Markt ein. Darum ist es wichtig, dass die Automobil-Hersteller ihre Fähigkeiten laufend dem Umfeld anpassen und dabei auch neue Technologien zur Verbesserung ihrer Wettbewerbsfähigkeiten nutzen. Von den Automobil-Herstellern wird der 3D-Druck auch genutzt werden, um ihrer Konkurrenz gegenüber einen Vorteil zu haben. Gemäss Giffi et al. (2014, S. 4) von der Deloitte Development



LLC. können generell zwei Bereiche identifiziert werden, wo der 3D-Druck einen grossen Einfluss auf die Wettbewerbsfähigkeit der Automobile-Hersteller haben wird.

- **Als eine Quelle für Produkt-Innovation:** Der 3D-Druck ermöglicht die Erstellung von Komponenten mit weniger Design-Restriktionen als herkömmliche Herstellungsverfahren. Es können komplexere Elemente hergestellt und auf die individuellen Wünsche der Kunden besser reagiert werden. Der 3D-Druck ist ein wichtiger Zukunfts-Faktor bei der Entwicklung und dem Design effizienterer und leichter Fahrzeuge.
- **Als Treiber für die Transformation der Wertschöpfungsketten:** Dank dem 3D-Druck können Werkzeuge direkt selber hergestellt und den eigenen Bedürfnissen angepasst werden. Dies wiederum verbessert die generellen Produktionszeiten sowie die Reaktionsmöglichkeiten auf Marktveränderungen. Weiter kann sowohl der Materialverbrauch als auch die Lagerhaltung optimiert werden, da mit dem 3D-Druck weniger Abfall entsteht und die benötigten Komponenten erst bei Bedarf dezentral (bei Komponenten, welche in geringer Anzahl benötigt werden) erstellt werden können. Dies wiederum ermöglicht eine Optimierung der Wertschöpfungsketten.

Ein soeben erwähntes Anwendungsfeld des 3D-Drucks in der Automobil-Industrie ist die Fertigung von spezifischen Werkzeugen und Halterungen (Rapid Tooling) für die Fahrzeug-Montagearbeiten, wie in Abbildung 21 dargestellt. Bei der BMW AG in Regensburg, Deutschland, wird dazu die Fused Deposition Modeling Methode (FDM) verwendet. Die grossen Gestaltungsmöglichkeiten dieser 3D-Druck-Methode erlauben es BMW, die eigenen Werkzeuge laufend zu verbessern und ergonomischer zu gestalten, sowie deren Gewicht merklich zu reduzieren. Diese Gewichtsreduktion, im Vergleich zu CNC gefertigten Werkzeugen, wird beispielsweise dadurch erreicht, dass der massive Kern eines Werkstücks durch eine innenliegende Rippenstruktur ersetzt wurde.

Methode	Kosten in \$	Vorlaufzeit
Herkömmliche CNC-Fertigung (Aluminium)	420	18 Tage
Fertigung 3D-Druck (FDM, Thermoplast)	176	1.5 Tage
<b>Einsparung effektiv</b>	<b>244</b>	<b>16.5 Tage</b>
Einsparung in %	58%	92%

Tabelle 8: Einsparungen beim Werkzeugbau bei BMW  
Quelle: Stratasy (2015)

Weiter spart BMW mit dem Einsatz der FDM-3D-Druck-Methode einerseits Geld und kann die Werkzeuge im Vergleich zur CNC-Fertigung wesentlich schneller herstellen und damit einsetzen, wie die Zahlen in der Tabelle 8 verdeutlichen (Stratasy, 2015).

Der Autobauer BMW setzt generell vermehrt auf den 3D-Druck. Auch der zur BMW Gruppe gehörende Automobil-Bauer Rolls-Royce Motor Cars baut seit 2012 Teile aus dem 3D-Drucker in seine Fahrzeuge ein. So werden beispielsweise Kunststoffhalterungen für Warnblinker, Türverriegelungstasten oder für Lichtleiter in die Modelle Phantom oder Dawn eingebaut (ähnlich

der Abbildung 22). Gemäss BMW werden vor allem Bauteile mit kompliziertem Design im 3D-Druck gefertigt, was wiederum die Produktionszeiten erheblich verkürzt. Aber auch Individualisierungen, wie die mit einem Namen versehenen Blinkergehäuse (siehe dazu Abbildung 23 und Abbildung 24) bei einer MINI Car-Sharing Flotte, stammen aus dem 3D-Drucker (BMW Group, 2016).

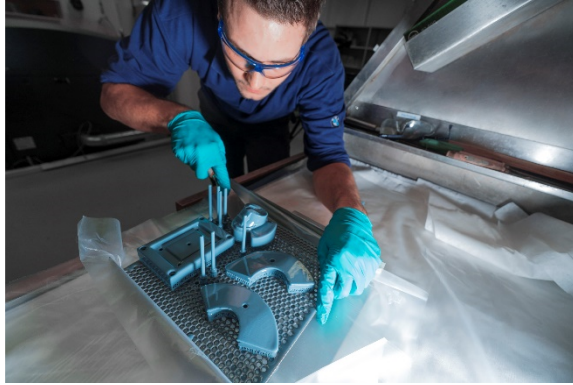


Abbildung 21: Werkzeugherstellung mit 3D-Druck  
Quelle: BMW Group (2016)



Abbildung 22: Additiv gefertigte Clips für Rolls-Royce Phantom  
Quelle: BMW Group (2016)



Abbildung 23: Montiertes MINI Blinkergehäuse mit Namen  
Quelle: BMW Group (2016)



Abbildung 24: Individuelles MINI Blinkergehäuse mit Namen  
Quelle: BMW Group (2016)

Eine weitere Anwendung des 3D-Druck in der Automobil-Industrie ist die Entwicklung von Prototypen, um die Effizienz bei der Entwicklung neuer Modelle und deren Einzelteile zu steigern. Der 3D-Druck ermöglicht es beispielsweise, das Design und neue Bauteile schneller und vor allem auch kostengünstiger zu validieren. Mit dem Einsatz der Selective Laser Melting (SLM) Methode ist es möglich, komplexe Teile, vor allem auch mit innenliegenden Hohlräumen, zu entwickeln, wie z.B. bei einem Turbolader. Dies ist möglich dank der erhöhten Design-Freiheiten des 3D-Drucks im Vergleich zu herkömmlichen Methoden (Giet, 2014).

Für die Automobil-Industrie konnten anhand der obigen Beispiele die folgenden Anwendungsfelder für den 3D-Druck identifiziert werden:

- Die zeitnahe Entwicklung neuer Modelle und deren Bauteile mit dem Einsatz von Prototypen aus dem 3D-Drucker (Rapid Prototyping).

- Kundenorientierte Individualisierungen (Mass Customization). Ausgewählte Bauteile der Fahrzeuge werden den Kundenwünschen angepasst.
- Die Erstellung von Werkzeugen für die Produktion der Fahrzeuge (Rapid Tooling). Neben den Kosteneinsparungen stehen die benötigten Werkzeuge auch schneller zur Verfügung und sind exakt den eigenen Bedürfnissen angepasst.
- Die Produktion von spezifischen Komponenten, welche eine hohe Komplexität aufweisen, die mit herkömmlichen Verfahren nur schwer herzustellen sind (Direct Manufacturing).

In der Automobil-Industrie wird der 3D-Druck bereits gezielt und erfolgreich eingesetzt. Gerade in der Fertigung von komplexen Einzelteilen kann der 3D-Druck seine Stärken ausspielen. Weiter ermöglicht es der 3D-Druck, schwere Bauteile leichter zu gestalten, da deren teils massive Bauweise mit innenliegenden, leichteren Strukturen optimiert werden kann, ohne deren Festigkeit zu beeinträchtigen. Damit kann das Gewicht reduziert und die Energie-Effizienz der Fahrzeuge erhöht werden.

### **5.4.3 Luft- und Raumfahrt**

Bei der Luft- und der Raumfahrt ist es von enormer Bedeutung, dass das Gewicht der Flugzeuge möglichst reduziert werden kann. Dadurch kann einerseits der Treibstoffverbrauch verringert werden, andererseits bleibt mehr Platz für den Frachttransport.

So prüft der Flugzeugbauer Airbus momentan, ob die Teile seiner Flugzeuge auch mittels 3D-Druck hergestellt und dabei bezüglich ihres Gewichts optimiert werden können. Bis Ende 2018 will Airbus mehrere Flugzeugteile für den A350-900 aus Titan, Edelstahl und Aluminium mittels 3D-Druck herstellen. Damit wird sich das Leergewicht des 160 Tonnen schweren Flugzeugs voraussichtlich um eine Tonne verringern (Mattke, 2015).

Die Abbildung 25 zeigt eine Halterung (Original-Bezeichnung: "nacelle hinge bracket") eines A320 von Airbus. Die hintere Halterung ist herkömmlich aus Stahl gefertigt, die vordere Halterung ist mit einem 3D-Drucker aus Titan gedruckt worden. Die Gewichtseinsparung liegt dabei bei rund 40% (Gibson, Rosen, & Stucker, 2015, S. 471).

Die Abbildung 26 zeigt einen neuartigen Kabinenhalter (vorne) im Vergleich zum bisherigen Modell. Das neue Modell ist einen Drittel leichter, dadurch spart das Flugzeug pro Kilogramm Gewicht pro Jahr rund 30 Tonnen Kerosin (Hoffmann, 2016).

Solche Optimierungen sind im Flugzeugbau gut möglich, da hier jeweils nur kleine Serien von Teilen auf einmal benötigt werden und diese Teile generell teuer in der Herstellung sind.



Abbildung 25: Gedruckte Halterung aus Titan  
Quelle: GeLa Verlag für Luftfahrttechnik (2017)



Abbildung 26: Neuer Kabinenhalter (vorne) im Vergleich mit dem bisherigen Modell  
Quelle: Hoffmann (2016)

Für die Luft- und Raumfahrtindustrie liegt das Anwendungsfeld vor allem in der direkten Produktion (Direct Manufacturing) von Bauteilen für den Flugzeugbau. Diese werden vom Aufbau her optimiert, um beispielsweise Gewicht zu sparen. Dies ist speziell mit dem 3D-Druck möglich, da im Vergleich zu den herkömmlichen Fertigungs-Methoden die Gestaltungsfreiheit höher ist und daher von den bisherigen Formen abgewichen werden kann. Es ist jedoch anzunehmen, dass vor der Produktion der eigentlichen Bauteile zuerst Prototypen erstellt werden und daher in der Luft- und Raumfahrtindustrie der 3D-Druck auch für das Prototyping zum Einsatz kommt.

#### 5.4.4 Ausbildung und Lernen

Der 3D-Drucker erlaubt im Unterricht, die theoretische mit der praktischen Gestaltung zu verbinden. Mit dem 3D-Druck wird es möglich, am Computer gezeichnete Objekte in die Realität zu transformieren. Zuerst wird die Kreativität gefördert und anschliessend das technische Verständnis beim Zeichnen mittels einer CAD-Software.

Im Unterricht sollten einfache Drucker, welche mit der Fused Deposition Modeling (FDM) Methode arbeiten, verwendet werden. Die Anschaffungskosten sind im Verhältnis tief, der Umgang ist unkompliziert und die Druck-Materialien sind günstig.

Mit dem 3D-Druck können im Unterricht Teile oder ganze Modelle zur Veranschaulichung erstellt werden. Was früher nur in Büchern gezeigt werden konnte, kann mit einem 3D-Drucker in verhältnismässig kurzer Zeit realisiert und materialisiert werden. Für den Unterricht ist dies definitiv eine Bereicherung.



### 5.4.5 Energie-Gewinnung

Die Energiewirtschaft ist ähnlich gelagert wie der Flugzeug- oder Automobilbau. Auch in dieser Branche werden wenige, aber spezifische und hochwertige Teile benötigt, welche hohen Anforderungen und Normen entsprechen müssen.

Ein Beispiel dazu ist der deutsche Siemens-Konzern. Im Februar 2017 gab er bekannt, dass ein Volllasttest mit additiv gefertigten Gasturbinenschaufeln für die Stromerzeugung erfolgreich verlaufen ist. Für die Herstellung wurde ein Pulver aus einer hochtemperaturbeständigen Nickel-Superlegierung verwendet. Bisher wurden die Schaufeln für Gasturbinen herkömmlich durch Giessen oder Schmieden hergestellt, wobei gerade beim Giessen zuerst mit viel Aufwand eine Form erstellt werden musste. Ebenso konnte die Entwicklungszeit für eine solche Gasturbinenschaufel dank dem Einsatz der 3D-Druck-Technologie erheblich gesenkt werden, da Prototypen ebenfalls schneller gebaut werden können. Als weiterer Vorteil nennt Siemens die Flexibilität, einzelne Ersatzteile bei Bedarf direkt zu produzieren und zu liefern (Siemens AG, 2017).

Die untenstehenden Abbildung 27 zeigt eine Schaufel einer Gasturbine von Siemens, welche mittels dem 3D-Druck gefertigt wurde. Die Abbildung 28 zeigt die bereits verbauten Schaufeln einer Gasturbine.



Abbildung 27: Additiv gefertigte Gasturbinenschaufel von Siemens  
Quelle: Siemens AG (2017)



Abbildung 28: Verbaute, additiv gefertigte Schaufeln einer Gasturbine von Siemens  
Quelle: Siemens AG (2017)

Die Siemens AG ist ein gutes Beispiel, welches zeigt, dass im Bereich der Energie-Gewinnung der 3D-Druck erfolgreich angewendet werden kann. Gerade dieses Beispiel zeigt, dass der 3D-Druck in mehreren Anwendungsfeldern gleichzeitig eingesetzt werden kann: dem Prototypenbau in der Entwicklung, in der Fertigung von Ersatzteilen, um die Reparaturzeiten zu verkürzen und in der Produktion von Endprodukten.

### 5.4.6 Medizin und Gesundheit

Wie bereits in Kapitel 1.1 erwähnt, stellt der Hörgeräte Hersteller Sonova aus Stäfa Teile seiner Im-Ohr-Hörgeräte mit dem 3D-Drucker her. Diese Hörgeräte haben individuelle Formen, da sie dem Ohr des jeweiligen Kunden angepasst werden. Dabei wird bei der Produktion zuerst ein Ohrabdruck des Kunden erstellt. Dieser Abdruck wird anschliessend eingescannt, optimiert und mit einem 3D-Drucker gedruckt. Der 3D-Druck ermöglicht es Sonova, massgefertigte Hörgeräte innerhalb von nur wenigen Tagen zu produzieren (Sonova, 2016).

Am Universitätsspital Basel (USB) gelang letztes Jahr eine komplizierte Herzoperation, weil vorher das Herz und der sich darin befindliche Tumor mit einem 3D-Drucker nachgebaut werden konnte. Dank diesem Modell wussten die Chirurgen, wie der komplizierte Eingriff zu erfolgen hatte. Das Universitätsspital Basel verfügt über ein eigenes 3D-Druck-Labor, um bei komplexen Fällen den Eingriff an einem 3D-Modell prüfen zu können (Universitätsspital Basel, 2016).

Auch im Bereich von Prothesen oder Implantaten wird der 3D-Druck bereits eingesetzt. Bei den Implantaten können beispielsweise Knochenimplantate aus Edelmetall mittels 3D-Druck erstellt werden. Ein Beispiel dazu zeigt die Abbildung 29: Ein Hüftimplantat aus Titan, welches für einen Krebspatienten produziert wurde.



Abbildung 29: Hüftimplantat aus Titan  
Quelle: EOS e-Manufacturing Solutions (2015)

Die nächste, sich noch in der Entwicklung befindliche Stufe des 3D-Drucks im Bereich der Medizin, ist der sogenannte Bioprint. Dabei werden das Druck-Material, die sogenannte "Bio-tinte", vorgängig aus patienteneigenen Knorpelzellen gezüchtet. Diese werden anschliessend in die gewünschte Form, zum Beispiel zu einer Ohrmuschel, gedruckt. Ärzte aus der Hirslanden-Klinik in Zürich und dem Luzerner Kantonsspital planen, dieses Vorgehen bis Ende 2017 auch praktisch anzuwenden (Niederer, 2016).

Diese drei Beispiele zeigen, dass im Gesundheitswesen der 3D-Druck bereits verstärkt eingesetzt wird. Einerseits wird der 3D-Druck für die Erstellung von Modellen, aber auch für den effektiven Einsatz in- und ausserhalb des Körpers verwendet. Da jeder Patient einmalig ist, müssen jeweils auch massgefertigte Lösungen erstellt werden. Dies ist eine Parade-Disziplin des 3D-Drucks, von welcher das Gesundheitswesen zunehmend profitieren wird.

#### 5.4.7 Schmuck und Kunst

Schmuck besteht normalerweise aus edlen Metallen. Mittels den 3D-Druck-Methoden Selektivem Laser Sintering (SLS) oder Laser Schmelzen (SLM) lässt sich auch Schmuck herstellen. Benötigt wird dazu ein pulverisiertes Edelmetall. Ein Beispiel eines gedruckten Ringes aus Gold zeigt die Abbildung 30.

Auch bei den Uhrmachern kommt der 3D-Druck zur Anwendung. So werden neue Modelle und Gehäuse beim Genfer Uhrenhersteller Vacheron Constantin zuerst als Prototyp im 3D-Druck erstellt (Pooler, 2016).

Andere Uhrenbauer gehen einen Schritt weiter und verwenden Teile aus dem 3D-Drucker für die finale Uhr. So auch der kleine französische Hersteller A.L.B. aus Toulouse, welcher für seine Uhren ein individuelles Zifferblatt, wie in Abbildung 31 dargestellt, mit einem 3D-Drucker erstellt (Siegal, 2014).



Abbildung 30: Gedruckter Ring aus Gold  
Quelle: Cookson Precious Metals Ltd (2015)



Abbildung 31: Individuelles Zifferblatt von A.L.B.  
Quelle: Hoffmann (2016)

Auch im Bereich der Kunst wird der 3D-Druck angewandt. So lassen sich die verschiedensten Formen und Skulpturen mit dem 3D-Drucker erstellen. Ein Beispiel ist das Bild "Sunflowers" von Vincent van Gogh, welches in Bronze in 3D nachgedruckt wurde. Aus einem zweidimensionalen Bild wurde dadurch ein greifbares, dreidimensionales Objekt (The Huffington Post, 2013).

Im Bereich Schmuck und Kunst konnten die folgenden Anwendungsfelder für den 3D-Druck identifiziert werden:

- Modellierung und Prototyping: Uhren oder Teile davon werden als Modell mit einem 3D-Drucker erstellt.
- Erstellung von finalen Objekten aus dem 3D-Drucker: Schmuck, Kunstwerke und Teile für Uhren, wie im obigen Beispiel von A.L.B., werden mit dem 3D-Drucker gestaltet.

#### 5.4.8 Mode und Möbel

Bereits im Jahr 2015 hat der Sportartikel Hersteller Adidas erstmals einen Sport-Schuh aus dem 3D-Drucker präsentiert. Der Schuh mit dem Namen "Futurecraft 3D", dargestellt in der Abbildung 32, stammt vollständig aus dem 3D-Drucker und erlaubt es, einen massgefertigten Schuh für jeden Kunden anzufertigen. Die Vision von Adidas dabei ist es, dass der Kunde im Adidas Store auf einem Laufband ein paar Schritte läuft und der Computer anschliessend einen auf den Fuss des Kunden exakt zugeschnittenen Schuh (Dämpfung, Fussprofil, Stützen etc.) entwirft. Der Schuh wird anschliessend direkt im Adidas Store gedruckt (Adidas, 2015).

Was bei Adidas vor zwei Jahren noch als Zukunftsmusik angeschaut wurde, wird Wirklichkeit. Der Sportartikel-Hersteller hat im Deutschen Ansbach eine sogenannte "Speedfactory" gebaut. In dieser Fabrik sollen ab Mitte 2017 bis zu 500'000 Sport-Schuhe, respektive deren Sohlen, pro Jahr mittels Robotik und 3D-Druck hergestellt werden. Während Adidas aktuell vor allem in Asien produziert, soll mit der "Speedfactory" besser und vor allem auch schneller auf die Wünsche und Anforderungen der Kunden reagiert werden können. Adidas will mit der Speedfactory die Supply Chain optimieren und damit die Zeit, von der Herstellung eines Schuhs bis zum Verkauf, erheblich verkürzen (The Economist, 2017).



Abbildung 32: Adidas Futurecraft 3D Sportschuh  
Quelle: Adidas (2015)



Abbildung 33: Reebok Liquid Speed  
Quelle: 3D Natives (2016)

Aber auch Reebok arbeitet an der Herstellung von Schuhen aus dem 3D-Drucker. Die Abbildung 33 zeigt den Laufschuh Liquid Speed von Reebok, bei welchem die Untersohle aus dem



3D-Drucker stammt. Die restlichen Teile wurden auf herkömmliche Weise produziert (3D Natives, 2016).

Im Anwendungsfeld der Mode und der Möbel ist der 3D-Druck weniger vertreten. Wie die obigen beiden Beispiele zeigen, wird der 3D-Druck womöglich in Zukunft eine grössere Rolle spielen, heute bewegt er sich eher in einer Nische. Kleider aus dem 3D-Drucker sind höchstens bei Laufsteg-Präsentation zu sehen. Aktuell befindet sich das Anwendungsfeld des 3D-Drucks im Bereich Mode und Möbel somit noch beim Prototyping und in der Gestaltung von Modellen.

#### 5.4.9 Sonstige Anwendungsfelder

Die oben aufgeführten Anwendungsfelder und Beispiele sind nicht abschliessend. Der 3D-Druck kann und wird zukünftig in vielen weiteren Anwendungsfelder eingesetzt werden.

Gemäss Hagl (2015, S. 42 ff.) sind die heutigen Anwendungsfelder des 3D-Drucks, neben den oben bereits beschriebenen, sehr breit gefächert und reichen vom Werkzeugbau über den Schiffsbau bis hin zum Instrumentenbau in der Chemischen Industrie.

Eine Umfrage des weltweit aktiven Unternehmens Sculpteo.com, ein Service-Anbieter für 3D-Drucke und dazugehörigen Services, mit rund 400 Teilnehmern zeigt, dass der 3D-Druck in den unterschiedlichsten Anwendungsfeldern eingesetzt wird. Die Abbildung 34 zeigt, in welchen Anwendungsfeldern (in Prozent) die an der Umfrage beteiligten Unternehmen aktiv sind.

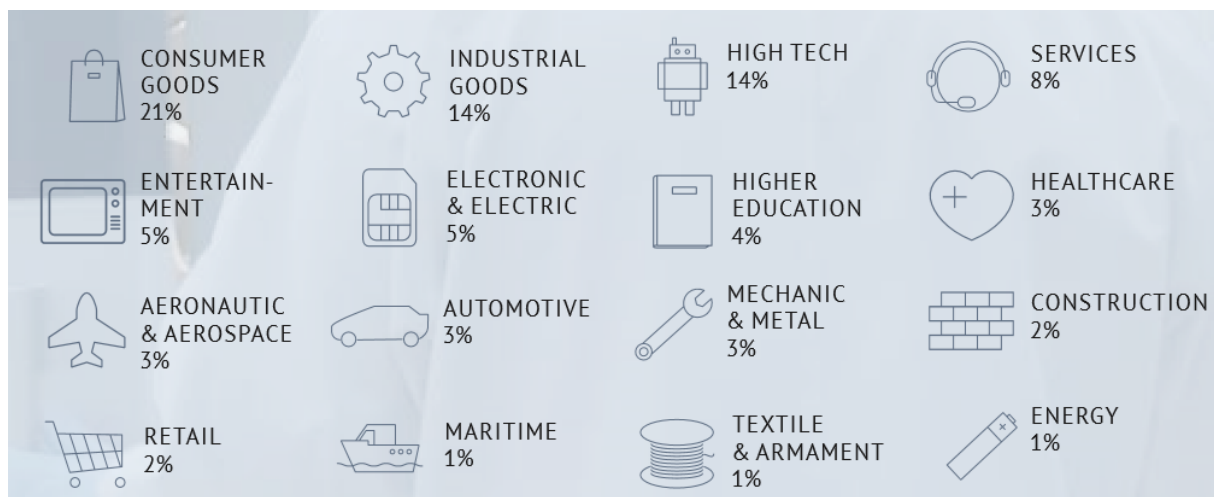


Abbildung 34: Anwendungsgebiete des 3D-Drucks gemäss einer Umfrage von Sculpteo  
Quelle: Sculpteo.com (2016)

### 5.5 Rückblick und Beantwortung der ersten Forschungsfrage

Im Kapitel 5.3 wurden ausgewählte, produktiv eingesetzte 3D-Druck-Methoden beschrieben und auch bildlich dargestellt. Am Anfang des Kapitels gibt die Tabelle 6 eine Übersicht der

verschiedenen Methoden sowie der jeweils einsetzbaren Materialien. Als nächstes beschreibt das Kapitel 5.4 verschiedene Anwendungsfelder des 3D-Drucks anhand ausgesuchter, angewandter Beispiele, welche auch die verwendeten 3D-Druck-Methoden und Materialien enthalten.

Anhand der gezeigten Beispiele liegt der Fokus der Anwendung des 3D-Drucks in vier übergeordneten Bereichen: Dem Erstellen von Modellen (z.B. in der Architektur oder dem Gesundheitswesen), dem Prototyping (z.B. in der Luftfahrt-Industrie), dem Erstellen von Werkzeugen, auch Rapid-Tooling genannt (z.B. bei der Automobil-Industrie) oder dem direkten Produzieren von Halb- oder Fertigfabrikaten unter dem Begriff Direct Manufacturing (z.B. bei der Energie-Gewinnung). Allenfalls gibt es noch weitere solche Bereiche, welche jedoch im Rahmen dieser Arbeit nicht erfasst wurden.

Die folgende Tabelle 9 zeigt eine Zusammenstellung der genannten Anwendungsfelder mit den Beispielen daraus, den soeben erwähnten übergeordneten Bereichen sowie der dabei angewandten 3D-Druck-Methoden und den verwendeten Materialien.

Anwendungsfelder	Anwendungsbeispiele	Übergeordnete Bereiche	Angewandte Druck-Methoden	Eingesetzte Materialien
Architektur und Gebäudebau	Modellbau, Bauelemente, Strukturen, Gebäude	Modelle, Direct Manufacturing	Fused Deposition Modeling (FDM), Contour Crafting (CC)	Kunststoffe, Gips, Betonmischungen
Automobil-Industrie	Werkzeugbau, Prototypen-Bau	Rapid Tooling, Prototyping	Fused Deposition Modeling (FDM), Selective Laser Melting (SLM)	Kunststoffe, Gips, Metalle, Legierungen
Luft- und Raumfahrt	Halbfabrikate	Prototyping, Direct Manufacturing	Selective Laser Melting (SLM), Spezial-Methoden	Edelstahl, Titan, Aluminium
Ausbildung und Lernen	Modellbau	Modelle	Fused Deposition Modeling (FDM)	Kunststoffe
Energie-Gewinnung	Halbfabrikate, Prototypen-Bau	Prototyping, Direct Manufacturing	Selective Laser Melting (SLM), Spezial-Methoden	Kunststoffe, Edelstahl, Nickel
Medizin und Gesundheit	Modellbau, Halbfabrikate, Fertigfabrikate	Modelle, Direct Manufacturing	Selective Laser Melting (SLM), Spezial-Methoden, Selektives Laser Sintern (SLS), Bioprinting	Kunststoffe, Acrylharze, Titan, Edelmetalle, Zellmaterialien
Schmuck und Kunst	Prototypen-Bau, Fertigfabrikate	Prototyping, Direct Manufacturing	Selektives Laser Sintern (SLS), Selective Laser Melting (SLM)	Gold, Bronze
Mode und Möbel	Modellbau, Fertigfabrikate	Direct Manufacturing, Prototyping	Spezial-Methoden	Spezialmaterialien

Tabelle 9: Zusammenfassung der Beispiele für Anwendungsfelder des 3D-Drucks  
Quelle: Eigene Darstellung

Anhand dieser Informationen wird die in Kapitel 1.3 definierte erste Forschungsfrage "Welche additiven Fertigungsmethoden und welche Materialien werden aktuell in welchen Anwendungsfeldern erfolgreich eingesetzt?" beantwortet.

## 6 Grundlagen zur Wertschöpfungskette und der Szenario-Entwicklung

Die Grundlagen der Theorie zu den Wertschöpfungs- und Lieferketten werden hier kurz nochmals definiert. Dabei wird der Fokus auf die Punkte gelegt, welche im Rahmen dieser Master-Thesis wesentlich sind. Generell wird in dieser Master-Thesis die Wertschöpfungs- und die Lieferkette kombiniert, also als Ganzes betrachtet. Diese startet bei der Herstellung der Grund-Materialien und endet beim Kunden.

### 6.1 Wertschöpfungskette (Value Chain)

Die Wertschöpfungskette (auch Wertkette genannt) eines Unternehmens hat gemäss Porter (2004) zum Ziel, mit seinen Produkten und Services einen Mehrwert für den Kunden zu generieren (erschaffen, schöpfen) und damit auch einen Gewinn für das Unternehmen zu erzielen.

Die nachfolgende Abbildung 35 zeigt die verschiedenen Aktivitäten eines Unternehmens auf. Alle diese Aktivitäten haben zum Ziel, einen Mehrwert zu schaffen oder dessen Schaffung zu unterstützen.

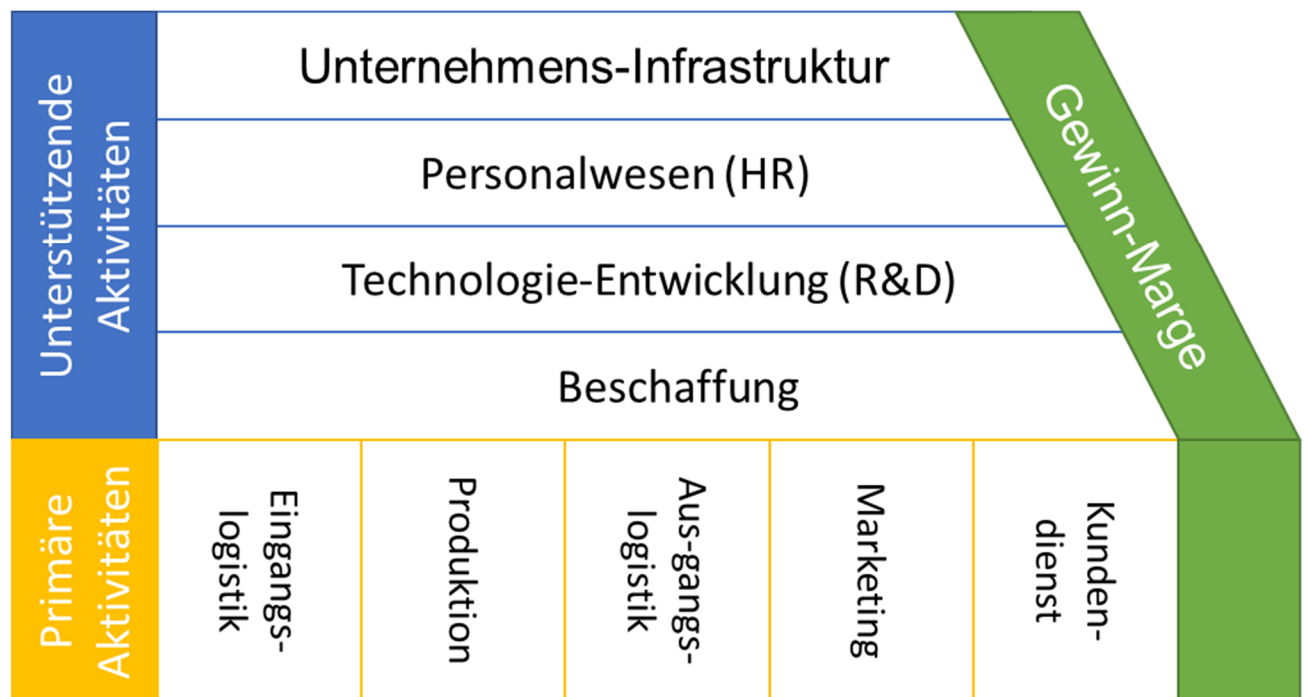


Abbildung 35: Wertschöpfung im Unternehmen nach Michael Porter  
Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Porter (2004)

Die Wertschöpfung kann vereinfacht wie folgt beschrieben werden: Die Eingangslogistik nimmt die Lieferungen entgegen, sortiert und prüft die eingegangenen Waren und gibt sie anschliessend weiter zur Produktion. Diese stellt das finale Produkt her und stellt die Qualität sicher.

Die Ausgangslogistik kümmert sich um die Lagerung der fertigen Produkte, verpackt und verschickt diese schlussendlich. Das Marketing ist für die Werbung und den Verkauf zuständig und der Kundendienst kümmert sich um Reparaturen und bietet weitere Dienstleistungen an. Alle diese Aktivitäten generieren Aufwand. Die Gewinn-Marge ist schlussendlich die Differenz zwischen dem Verkaufserlös und dem Aufwand aller Beteiligten.

Dieser Ablauf ist in der Abbildung 36 nochmals detaillierter dargestellt, wo auch die Wertsteigerung des Produkts während den verschiedenen Aktivitäten schematisch dargestellt ist.

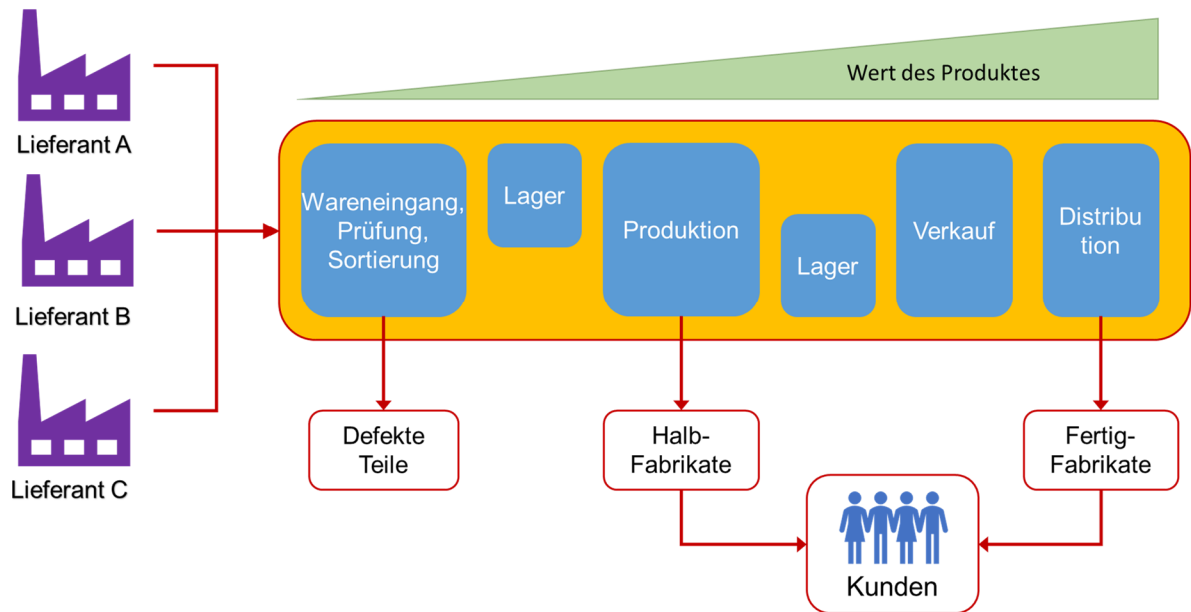


Abbildung 36: Schematische Darstellung primärer Aktivitäten in der Wertschöpfungskette  
Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Porter (Porter, 2004)

Bei der Wertschöpfungskette geht es um die Leistungserstellungsprozesse über die verschiedenen Beteiligten hinweg. Diese beginnen beim Rohstoff-Lieferanten und enden beim Kunden. Die Wertschöpfung kann ebenfalls aus immateriellen Dienstleistungen bestehen, die dem Kunden angeboten werden.

Die vorliegende Master-Thesis fokussiert sich bei der Analyse der Wertschöpfungskette auf die primären Aktivitäten, die Erstellung und Ausgestaltung eines materiellen Produktes.

## 6.2 Lieferkette (Supply Chain)

Eine Lieferkette beinhaltet die Planung, Erstellung und das Verteilen von Produkten und Dienstleistungen vom Rohmaterial bis hin zum Endverbraucher. Dieser ganze Ablauf ist in der Abbildung 37 vereinfacht dargestellt. Jeder der Lieferanten oder Unternehmen hat jeweils seine eigene Wertschöpfungskette, zu welcher auch die Logistik und der Transport der Waren gehören.

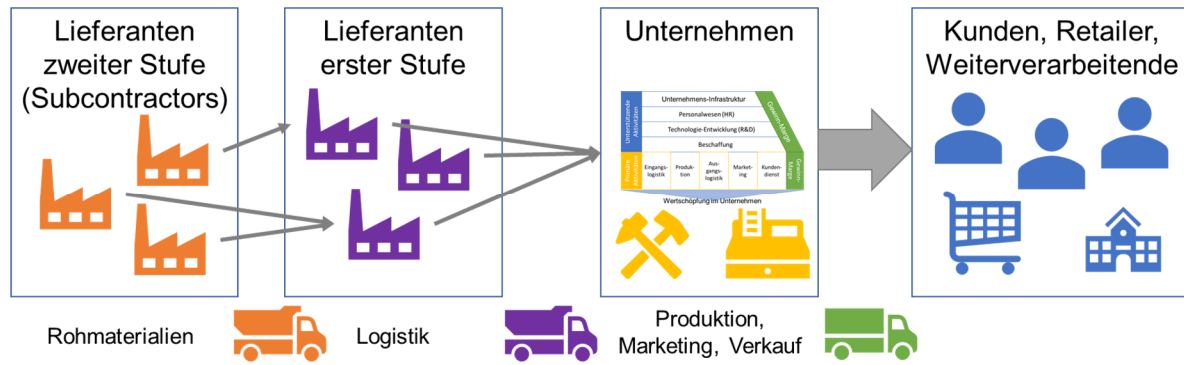


Abbildung 37: Schematische Darstellung einer Lieferkette  
Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Razat et al. (2015, S. 4)

Diese Master-Thesis untersucht die Auswirkungen des 3D-Drucks auf die ganze Lieferkette. Im Speziellen wird geprüft, wie sich die Logistik und die Warenströme aufgrund des 3D-Drucks verändern können.

### 6.3 Praxisbeispiel: Die Lieferkette (Supply Chain) der Adidas Group

Die Adidas Group lässt ihre Produkte mehrheitlich durch Dritte herstellen. Dabei unterscheidet die Adidas Group (2017) die folgenden Arten von Lieferanten:

- Hauptzulieferer: Stellen Produkte für den Export oder den lokalen Markt her und stehen in einer direkten Geschäftsbeziehung mit Adidas.
- Subunternehmen: Von den Zulieferer beauftragte Herstellerbetriebe, um die Zulieferer in der Produktion zu unterstützen.
- Rohstofflieferanten und Dienstleister: Liefern Waren und Dienstleistungen an die Hauptzulieferer der Adidas Group.
- Lizenznehmer: Diese entwerfen, produzieren und vertreiben unter der Lizenz von Adidas Produkte.
- Agenten: Unabhängige Zwischenhändler, die selbständig entscheiden, wo sie Produkte produzieren, um diese an die Adidas Group zu verkaufen.

Der Aufbau der Lieferkette der Adidas Group ist stark vereinfacht in der Abbildung 38 dargestellt. Gemäss der Adidas Group (2015, S. 60 ff.) wurde im Jahr 2015 mit insgesamt 1'079 unabhängigen Zulieferern in 61 verschiedenen Länder zusammengearbeitet. Weiter gab es 60 Lizenznehmer, welche wiederum in 49 Ländern ihre Zulieferer hatten. Dies zeigt, wie komplex eine Lieferkette bei einem multinationalen Konzern aufgebaut sein kann.

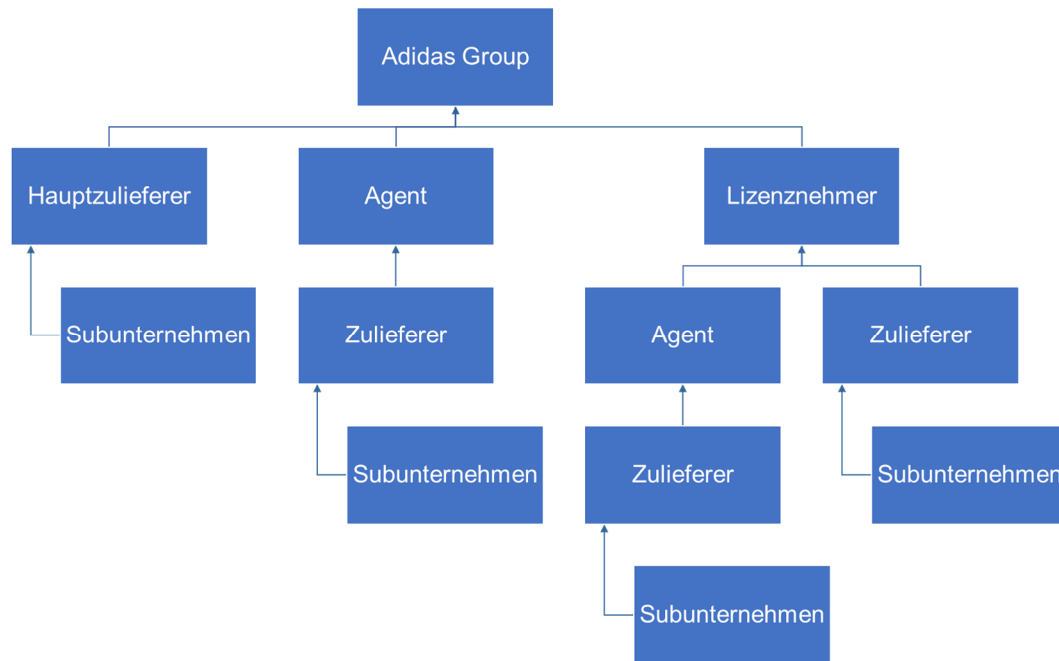


Abbildung 38: Vereinfachte Lieferkette der Adidas Group  
Quelle: Adidas Group (2017)

Die Produktion ist demnach mehrheitlich ausgelagert und stark dezentralisiert. Bis auf die Lizenznehmer, welche die Produkte direkt verkaufen, ist es jeweils ein langer Weg von der Produktion bis zum Endkunden. Die Wertschöpfung im Bereich der Produktion der Sportartikel erfolgt ebenfalls mehrheitlich dezentral. Die Adidas Group selber ist für die Entwicklung, die Beschaffung, den Vertrieb, das Marketing und für weitere Services zuständig (Adidas AG, 2017, S. 67 ff.). Die Wertschöpfung für das Endprodukt findet somit durch die verschiedenen Zulieferstufen statt.

## 6.4 Grundlagen zur Szenario-Technik

Die Szenario-Technik hat zum Ziel, für die Zukunft mögliche Situations-Entwicklungen aufzuzeigen. Ausgehend von der Gegenwart werden mit der Szenario-Technik verschiedene Zukunftsbilder erstellt, von denen wiederum Konsequenzen für die Gegenwart abgeleitet werden können. So hat es auch bereits Ute von Reibnitz (1992, S. 14) beschrieben und analog der nachfolgenden Abbildung 39 dargestellt.

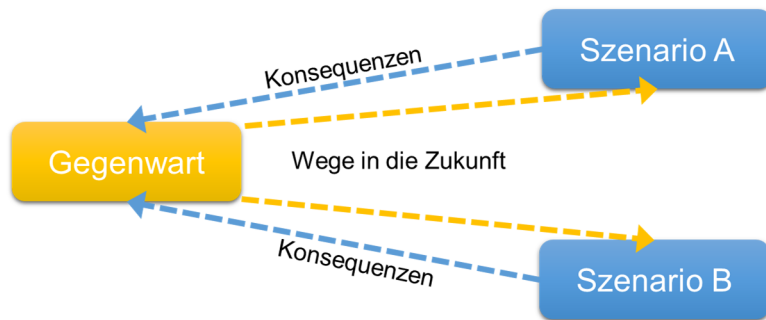


Abbildung 39: Wege in die Zukunft  
 Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an von Reibnitz (1992, S. 14)

Im weiteren Verlauf dieser Arbeit wird für die Zukunfts-Szenario-Entwicklung jedoch mehrheitlich das Vorgehensmodell von Fink & Siebe (2016) verwendet, da dieses Vorgehen wesentlich aktueller ist und somit dem heutigen Zeitgeist entspricht.

#### 6.4.1 Die unterschiedlichen Szenario-Ansätze

Ein Szenario kann einerseits eine zukünftige Situation beschreiben, also einen Zeitpunkt oder einen "Schnappschuss der Zukunft". In diesem Fall wird von Situations-Szenarien gesprochen. Andererseits kann ein Szenario auch die Entwicklung beschreiben, welche aus der Gegenwart zu einer in der Zukunft gelegenen Situation führt. Dabei wird der Zeitraum von der Gegenwart bis zu dieser Situation dargestellt, eine "Geschichte in die Zukunft". In diesem Fall wird von Prozess-Szenarien gesprochen. Weiter kann die Zukunft auch aus zwei unterschiedlichen Standpunkten aus betrachtet werden: Von einem Startpunkt in der Gegenwart (Exploratives Szenario) oder von einem Endpunkt in der Zukunft (Antizipatives Szenario) (Fink & Siebe, 2016, S. 47). Die nachstehende Abbildung 40 zeigt diese vier beschriebenen Grundformen von Szenarien.



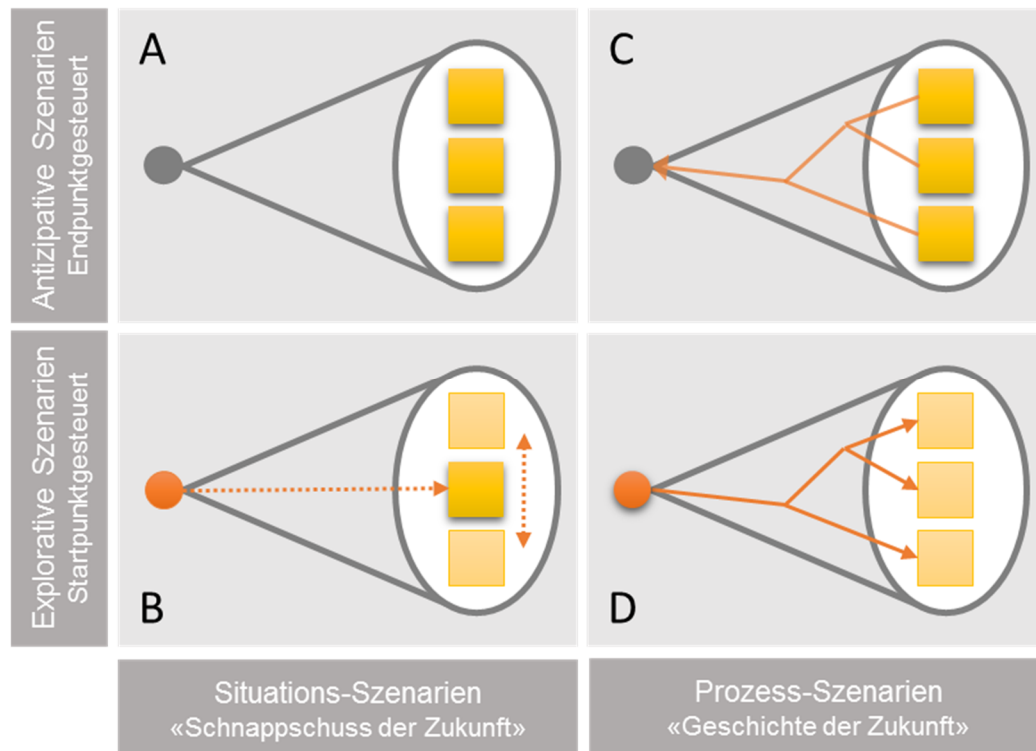


Abbildung 40: Die vier Szenarien-Grundformen  
 Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Fink & Siebe (2016, S. 48)

In diese Master-Thesis werden Szenarien nach der Grundform [B] entwickelt. Diese Szenarien-Form beschreibt ausgehend von der Gegenwart eine Zukunft und legt damit ein Referenz-Szenario vor. Aus diesem Referenz-Szenario wiederum können anschliessend abweichende zukünftige Situationen beschrieben werden. Damit können verschiedene "Schnappschüsse der Zukunft" erzeugt werden. Da in dieser Master-Thesis von der Gegenwart aus mögliche zukünftige Szenarien entwickelt werden, ist diese Szenarien-Form am geeignetsten.

## 6.4.2 Die Phasen der Szenario-Entwicklung

Die Entwicklung eines Szenarios kann nach Fink & Siebe (2016, S. 53) in drei wesentliche Phasen, wie in Abbildung 41 dargestellt, aufgeteilt werden:

### 1. Phase 1: Szenariofeld-Analyse

Die Schlüsselfaktoren werden identifiziert und ausgewählt. Damit werden die relevanten Themen, die in den Szenarien behandelt werden sollen, ausgewählt.

### 2. Phase 2: Szenario-Prognostik

Für die zuvor definierten Schlüsselfaktoren werden Deskriptoren beschrieben und damit messbar gemacht. In der vorliegenden Arbeit gibt es vereinzelt Abweichungen zum Vorgehen von Fink & Siebe, da teilweise ein Software-Tool benötigt wird, welches nicht zur Verfügung steht.

### 3. Phase 3: Szenario-Bildung

Anhand der Schlüsselfaktoren und deren zukünftigen Entwicklungen werden konkrete Szenarien gebildet und ausformuliert.

Anschliessend können diese Szenarien interpretiert und mögliche Konsequenzen aus Sicht der Gegenwart identifiziert werden.

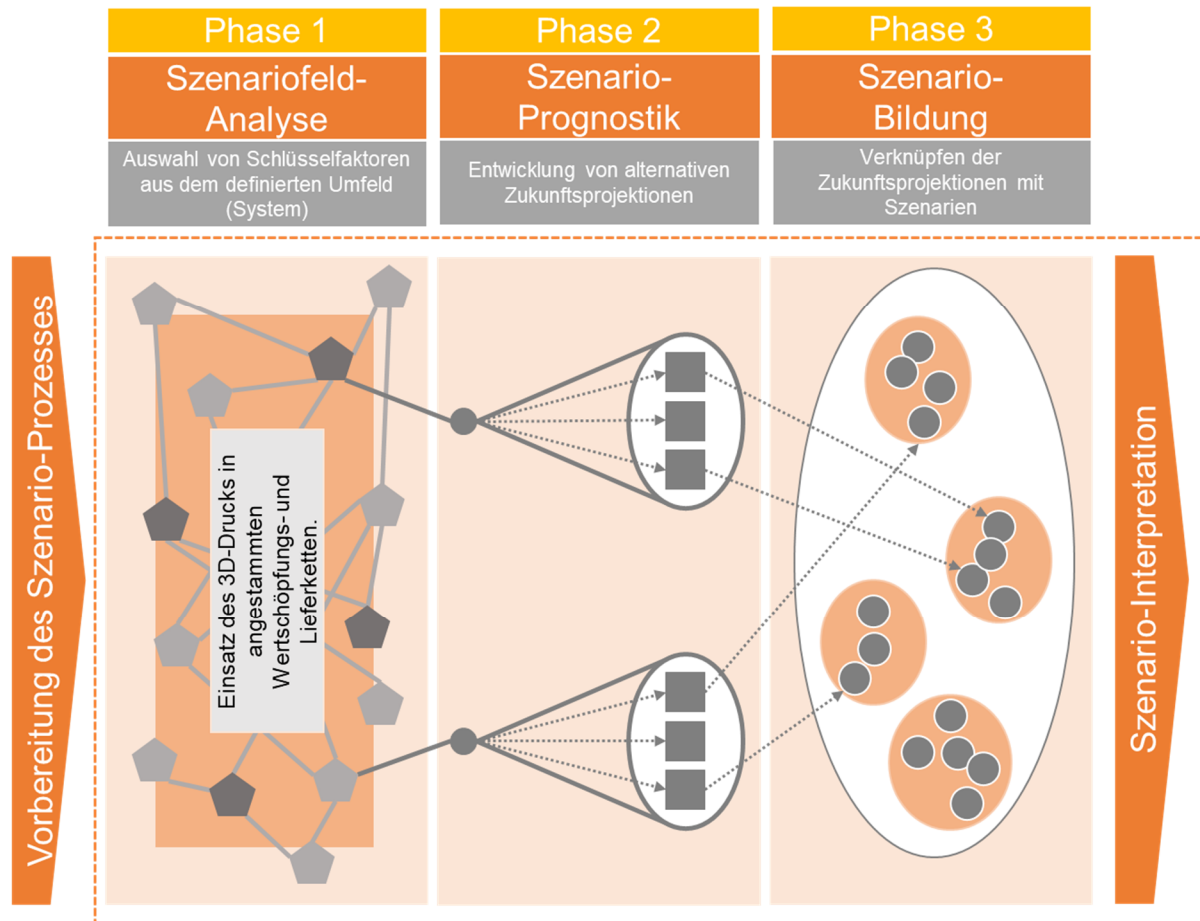


Abbildung 41: Die drei Phasen des Szenario-Entwicklungs-Prozesses  
Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Fink & Siebe (2016, S. 53)

Als nächstes wird das Vorgehen in den einzelnen Phasen beschrieben. Anhand dieses Vorgehens werden im späteren Verlauf dieser Master-Thesis die Szenarien erstellt.

### 6.4.3 Phase 1: Szenariofeld-Analyse

Hier wird das Szenariofeld definiert: Für welches Unternehmen, für welche Branche, für welche Region wird das Szenario erstellt? Alternativ kann auch ein globales Szenariofeld definiert werden, welches beispielsweise die generelle Entwicklung des 3D-Drucks zum Ziel hat.

Sind diese Punkte definiert, müssen mögliche Einflussfaktoren identifiziert werden. Dabei ist es wichtig, die richtigen Einflussfaktoren zu erfassen, wobei es hierbei nicht absolute Sicherheit gibt. Dazu müssen verschiedene Systemebenen und die dortigen Einflussbereiche, wie dies Fink & Siebe (2016, S. 73) bezeichnen, betrachtet werden. Diese Systemebenen und die

damit verbundenen Einflussbereiche können beispielsweise wie in der Abbildung 42 dargestellt aufgeteilt werden:

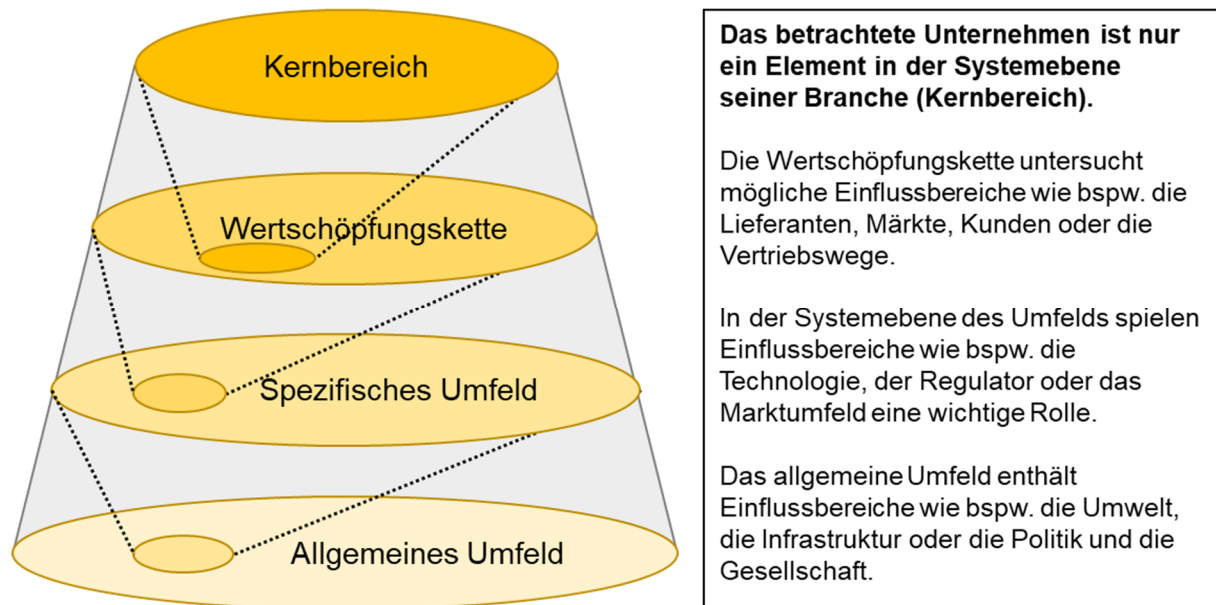


Abbildung 42: Die Systemebenen und Einflussbereiche einer Branche  
Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Fink & Siebe (2016, S. 73)

Gemäss Fink & Siebe (2016, S. 75) empfiehlt es sich nun, anhand der verschiedenen Systemebenen und deren Einflussbereiche ein Systembild zu erstellen. Dieses Systembild zeigt das Szenario-Feld und präzisiert dieses. Einflussbereiche, welche übersehen wurden, können hier sichtbar gemacht werden.

Nun erfolgt die Beschreibung der vier Systemebenen und der Einflussbereiche durch dafür geeignete Einflussfaktoren. Die gewählten Einflussfaktoren sind dabei messbar oder zumindest gut beschreibbar. Der nächste Schritt ist die Identifikation der Schlüssel-Einflussfaktoren. Dies geschieht mittels einer Vernetzungsmatrix, in welcher die Faktoren mit dem höchsten aktiven und passiven Einfluss aufeinander identifiziert werden. Diejenigen Faktoren mit dem höchsten passiven und aktiven Einfluss werden als Schlüsselfaktoren für die weitere Szenario-Entwicklung verwendet (Fink & Siebe, 2016, S. 78 ff.).

#### 6.4.4 Phase 2: Zukunfts-Projektionen

In dieser zweiten Phase in der Szenario-Entwicklung werden gemäss Fink & Siebe (2016, S. 89 ff.) anhand der zuvor definierten Schlüsselfaktoren sogenannte Zukunfts-Projektionen, auch Trends genannt, erstellt. Die Wahl der Projektionen kann durch den Autor selber festgelegt werden.

Zu den definierten Schlüsselfaktoren werden nun mögliche Trends (Zukunfts-Projektionen) gesucht. Dabei ist darauf zu achten, dass diese Trends möglichst zu einem Schlüsselfaktor

passen und es keine Überlagerungen mit anderen Schlüsselfaktoren gibt. Ausserdem sollten pro Schlüsselfaktor nicht mehr als fünf verschiedene Trends festgehalten werden.

Wurde dieser Schritt für die relevanten Schlüsselfaktoren aus dem ersten Schritt der Szenario-Entwicklung vollzogen und damit mögliche Zukunfts-Projektionen erarbeitet, kann zur nächsten Phase, der "Szenarien-Bildung" übergegangen werden.

#### **6.4.5 Phase 3: Szenarien-Bildung**

Bei der Szenarien-Bildung erfolgt gemäss Fink & Siebe (2016, S. 100 ff.) eine Konsistenz-Analyse, gefolgt von einer Bündelung der Projektionen und einer anschliessenden Cluster-Analyse. Dazu wird jedoch eine entsprechende Software-Unterstützung benötigt, welche für die Master-These nicht vorliegt. Darum wird auf die zweite Variante der Szenarien-Bildung gemäss Fink & Siebe (2016, S. 116 ff.) zurückgegriffen, der Anwendung der Morphologie gestützten Szenarien-Bildung. Dabei werden die erarbeiteten Zukunfts-Projektionen in einem sogenannten "Morphologischen Kasten" aufgelistet. Daraus werden mögliche Szenarien ausformuliert.

#### **6.4.6 Szenario-Interpretation**

Bei der Szenario-Interpretation geht es darum, die vorher eruierten Szenarien zu beschreiben und auszuformulieren. Sind die verschiedenen Szenarien beschrieben, kann damit die zweite Forschungsfrage beantwortet werden.

## 7 Szenario-Entwicklung zum zukünftigen Einsatz des 3D-Drucks

Um die im Kapitel 1.3 definierte zweite Forschungsfrage "*Wie können additive Fertigungsverfahren bestehende Wertschöpfungs- und Lieferketten nachhaltig beeinflussen?*" beantworten zu können, wird ein Szenario zum zukünftigen Einsatz des 3D-Drucks erstellt. Die Szenario-Entwicklung soll aufzeigen, wie der 3D-Druck in Zukunft zur Anwendung kommen kann. Anhand dieser Szenarien wird beschrieben, wie der 3D-Druck bestehende Wertschöpfungs- und Lieferketten beeinflussen kann.

Die Bildung der Szenarien erfolgt anhand der im Kapitel 6.4 beschriebenen Grundlagen zur Szenario-Entwicklung.

### 7.1 Phase 1: Durchführung einer Szenariofeld-Analyse

In der Szenariofeld-Analyse werden anhand der vier vorgegebenen Systemebenen die unterschiedlichen Einflussbereiche festgelegt, in dem sich das Szenario bewegt. Das Ziel dieser Phase ist die Identifikation von Schlüsselfaktoren bezüglich des zukünftigen Einsatzes des 3D-Drucks. Die identifizierten Schlüsselfaktoren werden in den nächsten Phasen für die Szenario-Entwicklung weiterverwendet.

Die Systemebenen werden in diese vier Ebenen aufgeteilt:

1. Kernbereich des 3D-Drucks
2. Wertschöpfungskette
3. Spezifisches Umfeld des 3D-Drucks
4. Allgemeines Umfeld

Die Wissens-Grundlagen für die Erarbeitung der Szenariofeld-Analyse bilden die bereits in dieser Master-Thesis beschriebenen Informationen zum 3D-Druck, die Erfahrung des Autors zur Thematik sowie weitere Literaturrecherchen.

#### 7.1.1 Darstellung des Systembildes und Ermittlung der Einflussbereiche

Für die vier Systemebenen wurde ein Systembild zum 3D-Druck erstellt. Die Abbildung 43 zeigt das Systembild mit den vier Systemebenen und die, mittels Brainstorming identifizierten Einflussbereiche, welche im Anschluss an das Systembild beschrieben werden. Der Schwerpunkt im Systembild liegt im Bereich der Wertschöpfungskette, welche die meisten und für diese Master-Thesis wesentlichen Einflussfaktoren beinhaltet. Die Einflussfaktoren in den beiden Systemebene des spezifischen und des allgemeinen Umfelds nehmen Bezug auf den 3D-Druck, sind jedoch genereller formuliert.

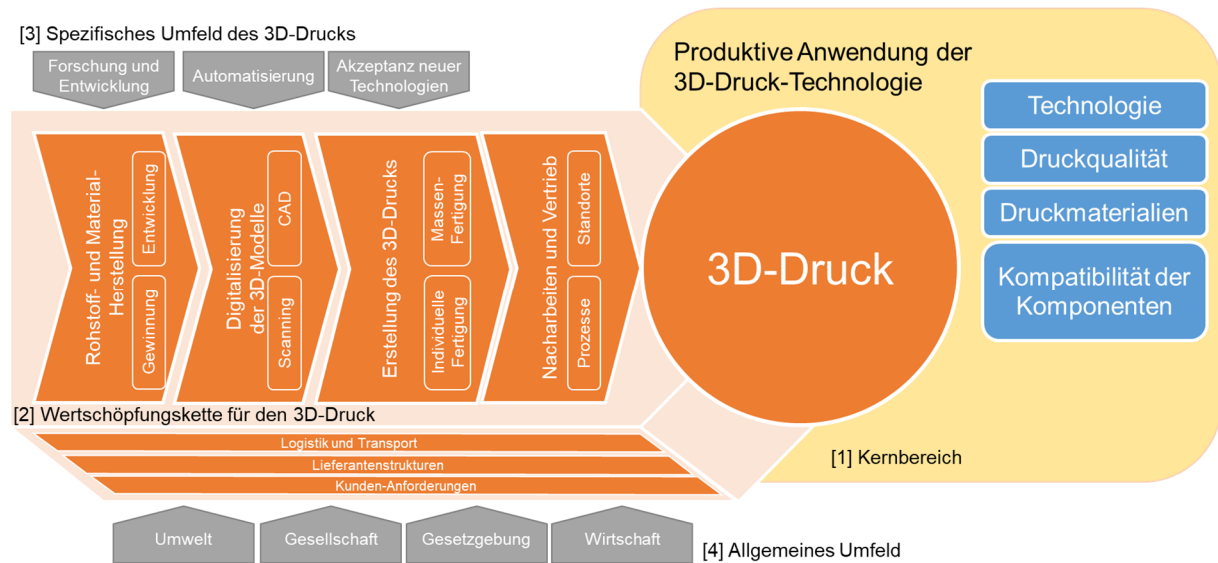


Abbildung 43: Systembild und Einflussbereiche des 3D-Drucks  
Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Fink & Siebe (2016)

Die erste Systemebene, der Kernbereich, beinhaltet die Einflussbereiche der *Technologie*, der *Druckqualität*, der *Druckmaterialien* und die *Kompatibilität der Komponenten*. Die *Technologie* wird geprägt durch die verschiedenen 3D-Druck-Methoden, welche zur Verfügung stehen. Diese ermöglichen die Verarbeitung von unterschiedlichen Druckmaterialien und verfügen über differenzierte Qualitätsmerkmale.

Die *Druckqualität* beinhaltet die finalen Strukturen wie beispielsweise die Oberflächenbeschaffenheit, die Festigkeit der gedruckten Objekte oder deren Reaktion auf Umwelteinflüsse. Die Druckqualität bestimmt auch den Einsatzzweck und damit auch die Ausrichtung auf unterschiedliche Einsatzgebiete.

Die *Druckmaterialien* sind teilweise abhängig von der eingesetzten 3D-Druck-Technologie, ermöglichen jedoch mit der zunehmenden Vielfalt ein immer breiteres Anwendungsfeld, wie beispielsweise den Druck von Häusern, Nahrungsmitteln oder menschlichem Gewebe. Die Vielfalt der Druckmaterialien wird mitbestimmen, in welchen Anwendungsfeldern sich der 3D-Druck zu etablieren vermag. Je mehr Druckmaterialien zur Verfügung stehen, desto mehr Möglichkeiten der Produktgestaltung bestehen.

Der Einflussbereich der *Kompatibilität der Komponenten* beinhaltet einerseits die Modellierung der 3D-Modelle und die Kompatibilität der dazu benötigten CAD- und Slicing-Anwendungen. Die verschiedenen Software-Lösungen müssen mit den unterschiedlichen 3D-Druckern und allfälligen weiteren Hardware-Komponenten wie 3D-Scanner kompatibel sein. Ansonsten besteht die Gefahr, dass der 3D-Druck misslingt und das gedruckte Objekt entsorgt werden muss.

Die zweite Systemebene, die Wertschöpfungskette, beinhaltet die vier zentralen Einflussbereiche der *Rohstoff- und Materialherstellung*, der *Digitalisierung der 3D-Modelle*, die effektive *Erstellung des 3D-Drucks* und die *Nachbearbeitung und den Vertrieb*. Zusätzlich beinhaltet die Wertschöpfungskette zum 3D-Druck die Einflussfaktoren der *Logistik und des Transports*, die *Lieferantenstrukturen* und die *Kunden-Anforderungen*.

In der Wertschöpfungskette ist die *Rohstoff- und Materialherstellung* der erste wertschöpfende Schritt. Mit den gewonnenen Rohstoffen werden anschliessend die für den 3D-Druck verwendbaren Materialien hergestellt. Diese werden zu den Abnehmern transportiert und durch die Lieferanten an die Unternehmen, welche diese Materialien benötigten, verteilt. Hierzu werden *Logistik- und Transportleistungen* benötigt. Die *Lieferantenstruktur* bestimmt, wie die Transportwege aussehen und wie die Materialien für den 3D-Druck zum Produzenten gelangen.

Vor der eigentlichen *Erstellung des 3D-Drucks* müssen die Modelle am Computer digitalisiert werden. Diese *Digitalisierung der 3D-Modelle* kann einerseits unter Zuhilfenahme von 3D-Scannern erfolgen oder das Modell wird mittels CAD-Software am Computer modelliert. Als dritte Variante kommt noch der Download eines bestehenden, frei zugänglichen Modells aus dem Internet in Frage.

Bei der *Erstellung des 3D-Drucks* spielen die zuvor im Kernbereich zum 3D-Druck beschriebenen Einflussbereiche wie die *Technologie* oder die *Druckqualität* eine zentrale Rolle. Im Bereich der Wertschöpfungskette ist die Menge der zu druckenden Objekte von Bedeutung: Handelt es sich dabei jeweils um individuelle Einzelfertigungen (kleine Stückzahlen) oder eine Massenfertigung mit grossen Stückzahlen. Dies ist vor allem relevant für die Berechnung der Kosten, auch im Vergleich zu herkömmlichen Fertigungsmethoden.

Am Ende der Wertschöpfungskette steht die *Nachbearbeitung und der Vertrieb*. Der Umfang der Nachbearbeitung wird durch die eingesetzte Technologie und die Materialien bestimmt. Um die Nachbearbeitung effizient zu gestalten, sind entsprechende Prozesse notwendig. Beim Vertrieb wiederum ist der effektive Produktionsstandort ein wichtiger Faktor. Um die Vertriebswege möglichst kurz zu halten, kann dank der Digitalisierung die Produktion auch an Drittunternehmer ausgelagert werden.

Während der ganzen Wertschöpfungskette sind die *Kundenanforderungen* der zentrale Einflussfaktor. Der Kunde bestimmt mit seinen Anforderungen, wie das zu erstellende Objekt am Schluss aussehen und funktionieren soll.

Die dritte Systemebene ist das spezifische Umfeld des 3D-Drucks. Dieses beinhaltet die *Forschung und Entwicklung*, die *Automatisierung* der heute oftmals noch manuellen Abläufe im Bereich der Vor- und Nachbearbeitung des 3D-Drucks sowie auch die Schaffung der *Akzeptanz für neue Technologien*. Gerade der zuletzt genannte Punkt ist für eine weitere Etablierung

des 3D-Drucks in der Industrie wie auch im Privatkunden-Bereich sehr wichtig. Erst wenn das notwendige Wissen und das Vertrauen in eine neue Technologie vorhanden ist, kann diese sich durchsetzen.

Die vierte und letzte Systemebene beinhaltet das allgemeine Umfeld. Hier spielen die Einflussbereiche *Umwelt*, *Gesellschaft*, *Gesetzgebung* und die *Wirtschaft* im Allgemeinen gewichtige Rolle. Diese Bereiche bestimmen, ob Unternehmen in neue Technologien investieren und damit den Weg für die weitere Verbreitung dieser Technologien ebnen.

## **7.1.2 Ermittlung und Beschreibung der Einflussfaktoren**

In den folgenden Kapiteln werden die Einflussfaktoren anhand der oben aufgeführten Einflussbereiche pro Systemebene beschrieben.

### **7.1.2.1 Systemebene Kernbereich**

Die erste Systemebene beschreibt die Einflussfaktoren aus dem Kernbereich rund um die Thematik des 3D-Drucks. Dabei geht es um die wesentlichen Merkmale, welche den 3D-Druck beeinflussen oder von diesem beeinflusst werden.

Die folgenden Einflussfaktoren konnten anhand der Einflussbereiche identifiziert werden. Für jeden Einflussfaktor wurden die wesentlichen Treiber erfasst. Diese Treiber wiederum beschreiben den Einflussfaktor, quantifizieren diesen und machen ihn damit vergleich- und messbar.

Für den Kernbereich konnten die folgenden Einflussfaktoren gemäss Tabelle 10 festgestellt werden:



Einflussbereich	Beschreibung der Einflussfaktoren mit den wesentlichen Treibern
<b>Technologie</b>	<p>Einflussfaktor: 3D-Drucktechnologie</p> <p>Die Entwicklung der 3D-Drucktechnologie geht einher mit der Drucktechnik und auch der daraus resultierenden Druckqualität. Bei der Drucktechnik sind die zentralen Faktoren die Geschwindigkeit, die Auflösung (Genauigkeit) des Drucks, die Zuverlässigkeit, der Automatisierungsgrad und auch die Möglichkeit, verschiedene Materialien beim 3D-Druck zu kombinieren (Curran &amp; Baya, 2016). Aber auch die Entwicklung neuer Technologien für den 3D-Druck fällt in den Bereich der Technologie.</p> <p>Treiber: 3D-Druck-Methoden, Geschwindigkeit, Genauigkeit, Materialverbrauch, Kosten pro Druck, Grösse der druckbaren Objekte</p>
<b>Druckqualität</b>	<p>Einflussfaktor: 3D-Druck Qualität</p> <p>Die Druckqualität beim 3D-Druck beinhaltet beispielsweise die Beschaffenheit der Oberflächenstrukturen, die Stabilität, die Festigkeit oder auch die Resistenz gegen äussere Einflüsse. Diese Faktoren definieren den Einsatzzweck des fertig gedruckten Objekts. Die Druckqualität ist ebenfalls eine Folge der eingesetzten Druck-Technik und ist somit abhängig davon.</p> <p>Ein weiterer Faktor ist die Grösse eines 3D-Druckers. Dieser bestimmt, wie gross die zu druckenden Objekte sind, was wiederum neue Anwendungsfelder eröffnet.</p> <p>Treiber: Aufbau, Stabilität, Oberflächenbeschaffenheit, Grösse</p>
<b>Druckmaterialien</b>	<p>Einflussfaktoren: Materialien und Materialvielfalt</p> <p>Die Materialien sind mitbestimmend, was mit dem 3D-Druck hergestellt werden kann (Lipson &amp; Kurman, 2013, S. S. 267). Ebenso bestimmt die Vielfalt der Materialien über den zukünftigen Einsatzzweck des 3D-Drucks. So können beispielsweise Carbon-Fasern zukünftig Metallstrukturen aus Aluminium oder Stahl, wie z.B. bei einem Fahrrad, ersetzen (The Economist, 2012).</p> <p>Die Entwicklung der Materialien ist somit mitbestimmend für den weiteren Erfolg des 3D-Drucks in der Anwendung und der Erschliessung neuer Anwendungsfelder.</p> <p>Treiber: Festigkeit, Interaktion mit der Umwelt, Material-Entwicklung (Materialvielfalt)</p>
<b>Kompatibilität der Komponenten</b>	<p>Einflussfaktor: Kompatibilität der Soft- und Hardware-Komponenten</p> <p>Für eine reibungslose Anwendung des 3D-Drucks ist es wichtig, dass die verschiedenen technischen Komponenten vom Erstellen des 3D-Modells bis zum effektiven 3D-Druck funktionieren. Die verschiedenen Soft- und Hardwarekomponenten müssen im Erstellungsprozess zueinander kompatibel sein, da es ansonsten zu Fehlern in der Produktion kommen kann.</p> <p>Treiber: Schnittstellen-Unterstützung</p>

Tabelle 10: Beschreibung der Einflussfaktoren der ersten Systemebene  
Quelle: Eigene Darstellung

### 7.1.2.2 Systemebene der Wertschöpfungskette

Die zweite Systemebene beschreibt die Einflussbereiche aus der Wertschöpfungskette, in welcher der 3D-Druck eingebettet ist. Die Wertschöpfungskette ist hier generisch und nicht auf ein spezifisches Unternehmen zugeschnitten. Zu dieser Systemebene gehören die Lieferanten, die Kunden und Märkte aber auch das Unternehmen und dessen interne Prozesse.

Für die Wertschöpfungskette konnten die folgenden Einflussfaktoren gemäss Tabelle 11 festgestellt werden:

Einflussbereich	Beschreibung der Einflussfaktoren mit den wesentlichen Treibern
<b>Rohstoff- und Material-Herstellung</b>	<p>Einflussfaktor: Keinen</p> <p>Dieser Einflussbereich beinhaltet keinen Einflussfaktor. Der Punkt der Material-Entwicklung ist bereits in der ersten Systemebene mit dem Einflussbereich <i>Druckmaterialien</i> abgedeckt.</p>
<b>Digitalisierung der 3D-Modelle</b>	<p>Einflussfaktor: Konstruktion von digitalen 3D-Modellen</p> <p>Für die Konstruktion der 3D-Modelle mittels CAD Software braucht es entsprechendes Know-How und auch die entsprechende Hardware (z.B. einen 3D-Scanner). Je nach den gestellten Anforderungen ist die Konstruktion des digitalen 3D-Modells sehr zeitaufwendig und somit auch teuer.</p> <p>Treiber: Grad der Digitalisierung, Verfügbarkeit von Know-How-Trägern, Entwicklungskosten der 3D-Modelle</p>
<b>Erstellung des 3D-Drucks</b>	<p>Einflussfaktor: Art der Produktion</p> <p>Bei der Art der Produktion wird zwischen einer Individualfertigung und einer Massenfertigung unterschieden. Dabei ist zu beachten, dass der Vorteil des 3D-Drucks in der individualisierten Fertigung liegt, da bei der herkömmlichen Fertigung die Kostenvorteile bei der Produktion grosser Los-Grössen überwiegen, wie die Beispiel-Berechnung eines Fahrwerks für Kleinflugzeuge von Atzeni &amp; Salmi (2012, S. 1154) zeigt.</p> <p>Die Art der Produktion bestimmt daher mit, ob der 3D-Druck gewinnbringend eingesetzt werden kann.</p> <p>Treiber: Produktionsform (Massen- oder Individualfertigung), Auslagerung der Produktion</p>
<b>Nachbearbeitung und Vertrieb</b>	<p>Einflussfaktor: Ausgestaltung des Erstellungsprozesses für 3D-Drucke</p> <p>Bei der Ausgestaltung des Erstellungsprozesses für den 3D-Druck geht es darum, wie der Ablauf aufgebaut ist. Im Ablauf enthalten sind die Vorarbeiten, die Konstruktion des 3D-Modells, die Konvertierung des Modells in Schichten für den 3D-Druck, der 3D-Druck selber sowie allfällige Nacharbeiten. Dieser Ablauf und die damit verbundenen Aufgaben gehören zur Wertschöpfungskette und werden damit auch vom 3D-Druck beeinflusst.</p> <p>Treiber: Nachbearbeitungs- und Vorbereitungsaufwände</p> <p>Einflussfaktor: Produktionsstandort</p> <p>Bei der Wahl des Produktionsstandorts geht es darum, wo das digital vorliegende Objekt effektiv gedruckt wird. Der Produktionsstandort definiert mit, wie die Wertschöpfungskette ausgestaltet ist. So können digitale Modelle nicht nur in den unternehmenseigenen 3D-Druckern hergestellt werden, sondern es besteht auch die Möglichkeit, diese extern in lokalen 3D-Printshops wie z.B. beim FabLab Movement (Swiss FabLabs, 2017) oder auch bei global operierenden Unternehmen wie UPS (UPS Inc., 2016) herstellen zu lassen.</p> <p>Treiber: Produktionsstandort (zentral, dezentral, ausgelagert)</p>
<b>Logistik und Transport</b>	<p>Einflussfaktor: Transport und Logistik von Materialien und Fertigprodukten</p> <p>Die Materialien für den 3D-Druck müssen zuerst aus den Grund-Rohstoffen produziert und anschliessend über die Lieferanten zum Endkunden transportiert werden. Ebenso müssen die fertig gedruckten Objekte am Schluss zum Auftraggeber weitertransportiert werden. Dies benötigt eine entsprechende Logistik, inklusive der Zwischenlagerung.</p> <p>Treiber: Benötigte Logistikleistungen (Anzahl, Form, Distanzen), Umfang der Transporte (Fertigprodukte, Halbfabrikate, Materialien), zu bewältigende Distanzen pro Transport</p>

<b>Lieferantenstrukturen</b>	<p>Einflussfaktor: Lieferantenstrukturen</p> <p>Die Struktur der Lieferanten kann durch die Anwendung des 3D-Drucks beeinflusst werden. So kann beispielsweise die Anzahl der Lieferanten reduziert werden, indem Teile mittels 3D-Druck selber hergestellt werden und diese nicht eingekauft werden müssen. Weiter können dadurch die Transportdistanzen reduziert sowie die Zwischenlagerung optimiert werden. Dies zeigen Ferdinand et al. (2016, S. 231 ff.) anhand der Beispiele einer Mobiletelefon-Hülle und eines Flugzeugersatzteiles auf.</p> <p>Treiber: Anzahl der Lieferanten, Integrationsoptionen von Lieferanten in die eigene Wertschöpfungskette</p>
<b>Kundenanforderungen</b>	<p>Einflussfaktor: Kundenanforderungen</p> <p>Die Anforderungen der Kunden nach individuellen Produkten ist vorhanden, wie das Beispiel von BMW mit den Namen auf den Fahrzeugen im Kapitel 5.4.2 zeigt. Mit dem 3D-Druck wird es möglich, solche individuellen Lösungen zu realisieren. Somit haben die Anforderungen der Kunden einen Einfluss auf den 3D-Druck sowie auch auf die wertschöpfenden Prozesse der Unternehmen.</p> <p>Treiber: Nachfrage-Typ (individuelle Lösungen, Druck von Eigen-Kreationen, Massenproduktion), Kunden-Typ (Unternehmen oder Privatpersonen)</p>

Tabelle 11: Beschreibung der Einflussfaktoren der zweiten Systemebene

Quelle: Eigene Darstellung

### 7.1.2.3 Systemebene des Umfelds des 3D-Drucks

Die dritte Systemebene befasst sich mit dem Umfeld und schliesst damit spezifische Einflussfaktoren mit ein, die den 3D-Druck und dessen Umfeld tangieren oder davon beeinflusst werden.

Für das spezifische Umfeld des 3D-Drucks konnten die folgenden Einflussfaktoren gemäss Tabelle 12 identifiziert werden:

Einflussbereich	Beschreibung der Einflussfaktoren mit den wesentlichen Treibern
<b>Forschung und Entwicklung</b>	<p>Einflussfaktor: Technologie-Entwicklung</p> <p>Die weitere Technologie-Entwicklung der 3D-Druck-Methoden, wie sie im Kapitel 5.3 beschrieben wurden, wird die Anwendung des 3D-Drucks beeinflussen. So ist die Entwicklung der Druckqualität, der Geschwindigkeit oder der Oberflächenstrukturen entscheidend für die Erschliessung neuer Anwendungsfelder. Auch die weitere Entwicklung der Materialien wird es ermöglichen, immer mehr Produkte herzustellen oder auch Materialien kombinieren zu können. Die weitere technologische und materialtechnische Entwicklung wird den 3D-Druck und seine Anwendungsfelder erheblich beeinflussen.</p> <p>Treiber: Materialien, Drucktechnik, Weiterentwicklung der Materialien in den jeweiligen Branchen</p>
<b>Automatisierung</b>	<p>Einflussfaktor: Automatisierung in der 3D-Druck-Fertigung</p> <p>Aktuell ist der Automatisierungsgrad im 3D-Druck noch nicht sehr weit fortgeschritten. Viele Fertigungsschritte müssen manuell durchgeführt werden. Kann der Grad der Automatisierung jedoch erhöht werden, wird dies Auswirkungen auf die Kosten und damit auch auf den Erfolg des 3D-Drucks im Generellen haben. Dies könnte beispielsweise durch eine Erhöhung der Material- oder Farbvielfalt geschehen, da es damit möglich wird, ganze Bauteile, welche aus unterschiedlichen Materialien und Farben bestehen, wie z.B. eine Autotür, in einem Schritt zu drucken. Das Zusammensetzen der einzelnen Komponenten entfällt dabei.</p> <p>Treiber: Automatisierungsgrad</p>
<b>Akzeptanz neuer Technologien</b>	<p>Einflussfaktor: Marktdurchdringung des 3D-Drucks</p> <p>Der 3D-Druck dringt immer weiter vor und etabliert sich in weiteren Anwendungsfeldern. Ist aktuell die Zahl der Anwendungsfelder (Industrien) überschaubar, in denen der 3D-Druck anzutreffen ist, werden es in der Zukunft erheblich mehr Anwendungsfelder sein. So erwarten O Laplume, Petersen &amp; Pearce (2016, S. 598) für die Zukunft eine wesentlich stärkere Durchdringung in den verarbeitenden Industrien als heute.</p> <p>Treiber: Grad der Akzeptanz, Marktanteil des 3D-Drucks</p>

Tabelle 12: Beschreibung der Einflussfaktoren der dritten Systemebene

Quelle: Eigene Darstellung

#### 7.1.2.4 Systemebene des allgemeinen Umfelds

Die vierte und letzte Systemebene befasst sich mit dem allgemeinen Umfeld und beinhaltet damit generell gültige, für alle relevante Einflussfaktoren. Diese Einflussfaktoren sind somit nicht spezifisch auf den 3D-Druck zugeschnitten.

Für das allgemeine Umfeld konnten die folgenden Einflussfaktoren gemäss Tabelle 13 identifiziert werden:

Einflussbereich	Beschreibung der Einflussfaktoren mit den wesentlichen Treibern
<b>Umwelt</b>	<p>Einflussfaktor: Umweltschutz</p> <p>Im Bereich der Umwelt können die Energiekosten oder die Verfügbarkeit von Rohstoffen die zukünftige Integration des 3D-Drucks in die Wertschöpfungs- und Lieferkette beeinflussen. So werden viele Kunststoffe für den 3D-Druck heute teilweise aus Öl hergestellt. Nimmt die Verfügbarkeit dieses Rohstoffes ab, hat dies Auswirkungen auf die Rohstoffpreise, was die Integration des 3D-Drucks beeinflussen kann.</p> <p>Treiber: Unterstützung heutiger Umweltschutzziele</p>
<b>Gesellschaft</b>	<p>Einflussfaktor: Gesellschaftliche Wahrnehmung</p> <p>Die Wahrnehmung der Gesellschaft und deren Einstellung gegenüber neuen Technologien wird die Etablierung des 3D-Drucks beeinflussen. So wird sich zeigen, ob der 3D-Druck von Nahrungsmitteln akzeptiert wird.</p> <p>Treiber: Wahrnehmung (positiv, neutral, negativ)</p>
<b>Gesetzgebung</b>	<p>Einflussfaktor: Schutz des geistigen Eigentums</p> <p>Die Gesetzgebung gibt die Rahmenbedingungen vor, wie Unternehmen tätig sein können. Ein wichtiger Punkt ist der Schutz von geistigem Eigentum. Dieser Punkt ist auch für den Bereich des 3D-Drucks relevant, da die 3D-Modelle digital angefertigt und allenfalls an Dritte für die Produktion weitergegeben werden. Dabei muss das Gesetz sicherstellen, dass der Autor seine Rechte am Original behält und der Datenschutz sichergestellt ist.</p> <p>Treiber: Schutz des geistigen Eigentums (sichergestellt, nicht sichergestellt), Unterstützung des 3D-Drucks durch die Gesetzgebung</p>
<b>Wirtschaft</b>	<p>Einflussfaktor: Wirtschaftliche Entwicklung</p> <p>Die Entwicklung der Wirtschaft hat eine grosse Auswirkung auf die Entwicklung des Absatzmarktes und damit auch auf den Erfolg von Unternehmen. Ist ein Unternehmen erfolgreich, verfügt es üblicherweise über mehr Mittel und kann so besser mit dem technologischen Wandel mithalten. Dies bedeutet auch, dass ein Unternehmen eher bereit ist, in neue Technologien wie den 3D-Druck zu investieren.</p> <p>Treiber: Entwicklung der Wirtschaft</p>

Tabelle 13: Beschreibung der Einflussfaktoren der vierten Systemebene  
Quelle: Eigene Darstellung

### 7.1.3 Identifikation der Schlüsselfaktoren

Die identifizierten Einflussfaktoren werden nun auf ihre Vernetzung hin untersucht. Dies geschieht mittels einer Vernetzungsmatrix. Dabei werden die einzelnen Einflussfaktoren auf ihren Einfluss aufeinander untersucht und bewertet. Bei der Bewertung in der Vernetzungsmatrix wird von dieser Frage ausgegangen: "Welchen Einfluss hat Faktor A auf Faktor B?". Das heisst, wie stark und wie schnell wirkt sich eine Veränderung des Faktors A auf den Faktor B aus. Die Bewertung der Einflussfaktoren wurde durch den Autor dieser Master-Thesis vorgenommen.

Vernetzungsmatrix		B																		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
A		3D-Drucktechnologie	3D-Druck Qualität	Materialien und Materialvielfalt	Kompatibilität der Soft- und Hardware-Komponenten	Konstruktion von digitalen 3D-Modellen	Art der Produktion	Ausgestaltung des Erstellungsprozesses für 3D-Drucke	Produktionsstandort	Transport und Logistik	Lieferantenstrukturen	Kundenanforderungen	Technologie-Entwicklung	Automatisierung in der 3D-Druck-Fertigung	Marktdurchdringung des 3D-Drucks	Umweltschutz	Gesellschaftliche Wahrnehmung	Schutz des geistigen Eigentums	Wirtschaftliche Entwicklung	Aktivsumme
1	3D-Drucktechnologie		3	2	1	0	2	1	0	0	1	0	1	2	3	1	2	0	0	19
2	3D-Druck Qualität	0		0	0	0	2	3	1	1	0	1	1	2	3	0	1	0	0	15
3	Materialien und Materialvielfalt	2	3		0	1	2	1	1	2	2	1	1	1	1	1	0	0	0	19
4	Kompatibilität der Soft- und Hardware-Komponenten	1	0	0		3	1	1	2	0	0	1	1	2	0	0	0	0	0	12
5	Konstruktion von digitalen 3D-Modellen	1	0	2	1		1	0	2	1	0	3	0	1	0	0		2	0	14
6	Art der Produktion	2	0	0	0	2		3	3	3	1	1	0	2	0	0	0	0	0	17
7	Ausgestaltung des Erstellungsprozesses für 3D-Drucke	0	0	0	0	0	2		2	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	8
8	Produktionsstandort	0	0	0	0	0	3	2		3	3	1	0	1	0	0	0	0	0	13
9	Transport und Logistik	0	0	0	0	0	2	1	3		3	1	0	1	0	1	1	0	0	13
10	Lieferantenstrukturen	0	0	0	0	0	1	1	3	3		1	0	1	0	1	0	0	0	11
11	Kundenanforderungen	2	0	1	1	0	1	0	1	1	0		3	0	1	0	1	0	0	12
12	Technologie-Entwicklung	3	3	2	1	0	1	1	0	0	0	0		1	0	1	1	0	1	15
13	Automatisierung in der 3D-Druck-Fertigung	2	0	0	0	0	3	2	1	0	0	0	1		1	1	0	0	0	11
14	Marktdurchdringung des 3D-Drucks	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1		1	1	0	0	12
15	Umweltschutz	1	0	2	0	0	1	1	1	1	0	0	1	0	0		1	0	0	9
16	Gesellschaftliche Wahrnehmung	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	2	1		0	1	7
17	Schutz des geistigen Eigentums	0	0	0	0	3	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1		1	7
18	Wirtschaftliche Entwicklung	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	1		8
	Passivsumme	15	9	11	5	10	25	18	22	18	11	11	15	16	13	8	10	2	3	

Abbildung 44: Vernetzungsmatrix der Einflussfaktoren  
Quelle: Eigene Darstellung

In der obigen Abbildung 44 ist die Vernetzungsmatrix für die zuvor definierten Einflussfaktoren dargestellt. Jeder Einflussfaktor wird bewertet und die Resultate in einer Aktivsumme und einer Passivsumme festgehalten. Die Aktivsumme zeigt dabei die Stärke an, mit der ein Einflussfaktor auf die anderen Faktoren wirkt. Die Passivsumme zeigt pro Einflussfaktor an, wie stark dieser Faktor durch die anderen Faktoren beeinflusst wird. Je höher die Summe ist, desto stärker ist die Wirkung und die Beeinflussung.

Aus der Vernetzungsmatrix werden die sieben Einflussfaktoren hervorgehoben, welche die höchsten Summen aufweisen. Bei der Aktivsumme sind es acht Einflussfaktoren, da sich zwei Einflussfaktoren mit 13 Punkten den siebten Platz teilen.

Das in Abbildung 45 dargestellte System-Grid zur Visualisierung der Vernetzung zeigt die Einordnung der einzelnen Einflussfaktoren in die folgenden vier Bereiche nach Fink & Siebe (2016, S. 82):

- Hebelkräfte (Felder I, II und VI) haben einen grossen Einfluss auf das untersuchte Szenario, werden jedoch nur wenig durch andere Faktoren beeinflusst.

- Systemknoten (Felder II, III und IV) sind stark vernetzt und bilden somit die kritischen Faktoren in diesem Szenario. Dies sind mögliche Schlüsselfaktoren.
- Systemindikatoren (Felder IV, V und VII) werden von vielen anderen Faktoren beeinflusst und sind selber eher passiv. Bei Veränderungen sind diese Faktoren zu berücksichtigen, da diese Faktoren aufgrund ihrer passiven Beeinflussung ebenfalls betroffen sein können.
- Unabhängige Faktoren (Felder VI, VII und VIII) verfügen nur über eine geringe Beeinflussung und werden auch nicht gross durch andere Faktoren beeinflusst. Diese Faktoren sind von untergeordneter Bedeutung für das Szenario.

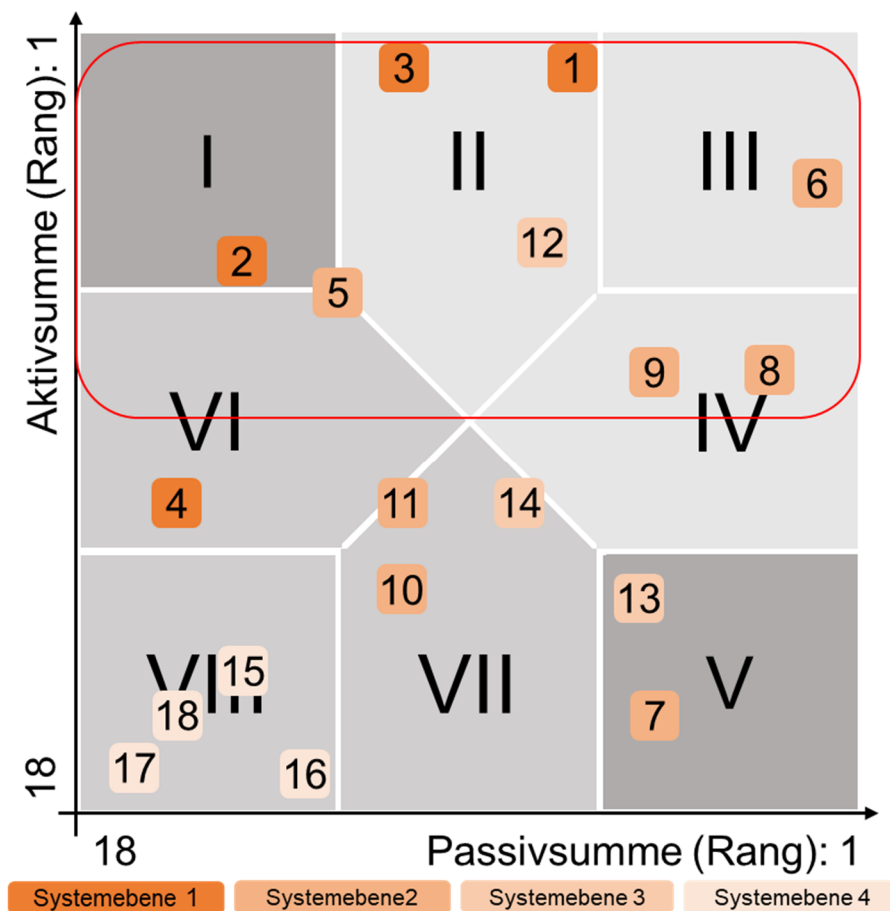


Abbildung 45: System-Grid zur Visualisierung der Vernetzung  
Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Fink & Siebe (2016, S. 81)

Anhand des obigen System-Grids können die Einflussfaktoren 1, 2, 3, 5, 6, 8, 9 und 12 als mögliche Schlüsselfaktoren betrachtet werden. Zusätzlich wird eine Relevanzmatrix erstellt, in welcher die Einflussfaktoren auf deren Relevanz untereinander bewertet werden. Die Relevanzmatrix zeigt damit auf, welche der Einflussfaktoren relevanter sind als andere in Bezug auf den zukünftigen Einsatz des 3D-Drucks.

Die Abbildung 46 zeigt die durch den Autor dieser Master-Thesis erstellte Relevanzmatrix. Die sechs am höchsten bewerteten Einflussfaktoren werden dabei dunkelblau hervorgehoben. Die



resultierende Relevanz-Summe wird zur abschliessenden Bestimmung der Schlüsselfaktoren weiterverwendet.

A	B																		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
Relevanzmatrix																			
0 = A ist weniger wichtig als B 1 = A ist wichtiger als B																			
bezüglich dem zukünftigen Einsatz des 3D-Drucks.																			
(Sichtweise des Autors)																			
	3D-Drucktechnologie	3D-Druck Qualität	Materialien und Materialvielfalt	Kompatibilität der Soft- und Hardware-Komponenten	Konstruktion von digitalen 3D-Modellen	Art der Produktion	Ausgestaltung des Erstellungsprozesses für 3D-Drucke	Produktionsstandort	Transport und Logistik	Lieferantenstrukturen	Kundenanforderungen	Technologie-Entwicklung	Automatisierung in der 3D-Druck-Fertigung	Marktdurchdringung des 3D-Drucks	Umweltschutz	Gesellschaftliche Wahrnehmung	Schutz des geistigen Eigentums	Wirtschaftliche Entwicklung	Relevanz-Summe
1	3D-Drucktechnologie	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	1	10
2	3D-Druck Qualität	0		1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	13
3	Materialien und Materialvielfalt	1	0		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	16
4	Kompatibilität der Soft- und Hardware-Komponenten	0	0	0		0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	4
5	Konstruktion von digitalen 3D-Modellen	1	0	0	1		1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	12
6	Art der Produktion	0	0	0	1	0		1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	10
7	Ausgestaltung des Erstellungsprozesses für 3D-Drucke	1	0	0	1	0	0		1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	11
8	Produktionsstandort	0	0	0	0	0	0	0		1	1	0	0	0	0	0	0	0	2
9	Transport und Logistik	0	0	0	1	1	0	1	0		1	0	0	0	1	1	1	1	9
10	Lieferantenstrukturen	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	1	0	0	0	1
11	Kundenanforderungen	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1		1	1	0	1	0	1	10
12	Technologie-Entwicklung	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0		1	1	1	1	1	15
13	Automatisierung in der 3D-Druck-Fertigung	1	1	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0		1	1	1	1	11
14	Marktdurchdringung des 3D-Drucks	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0		1	0	1	6
15	Umweltschutz	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0		0	1	4
16	Gesellschaftliche Wahrnehmung	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1		1	10
17	Schutz des geistigen Eigentums	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0		3
18	Wirtschaftliche Entwicklung	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	1	7

Abbildung 46: Relevanzmatrix der Einflussfaktoren  
Quelle: Eigene Darstellung

Mit der berechneten Relevanz-Summe und dem Vernetzungsgrad, welcher aus dem Produkt der Aktiv- und Passiv-Summe der Einflussfaktoren in der Vernetzungsmatrix gebildet wird, können nun die relevanten Schlüsselfaktoren für die Szenario-Entwicklung identifiziert werden. Dies geschieht gemäss Fink & Siebe (2016, S. 84) mit einem Vernetzungs-Relevanz-Grid, auf welchem die Einflussfaktoren mittels des berechneten Rangs eingefügt werden.

Gemäss dem Vernetzungs-Relevanz-Grid in der Abbildung 47 sind die eindeutigen Schlüsselfaktoren die Einflussfaktoren mit den Nummer 3 und 12, welche sich im Feld I befinden. Da damit nur zwei Schlüsselfaktoren identifiziert werden konnten, werden gemäss Fink & Siebe (2016, S. 84) die Einflussfaktoren in den Feldern II und III ebenfalls als Schlüsselfaktoren betrachtet. Somit konnten insgesamt acht Schlüsselfaktoren (Nummern 1, 2, 3, 5, 6, 8, 9 und 12)



identifiziert werden. Das Resultat stimmt somit mit der System-Grid Vernetzung in der Abbildung 45 überein. Die beiden Einflussfaktoren mit den Nummern 7 und 13, welche nicht eindeutig im Feld III gelegen sind, werden dabei nicht inkludiert.

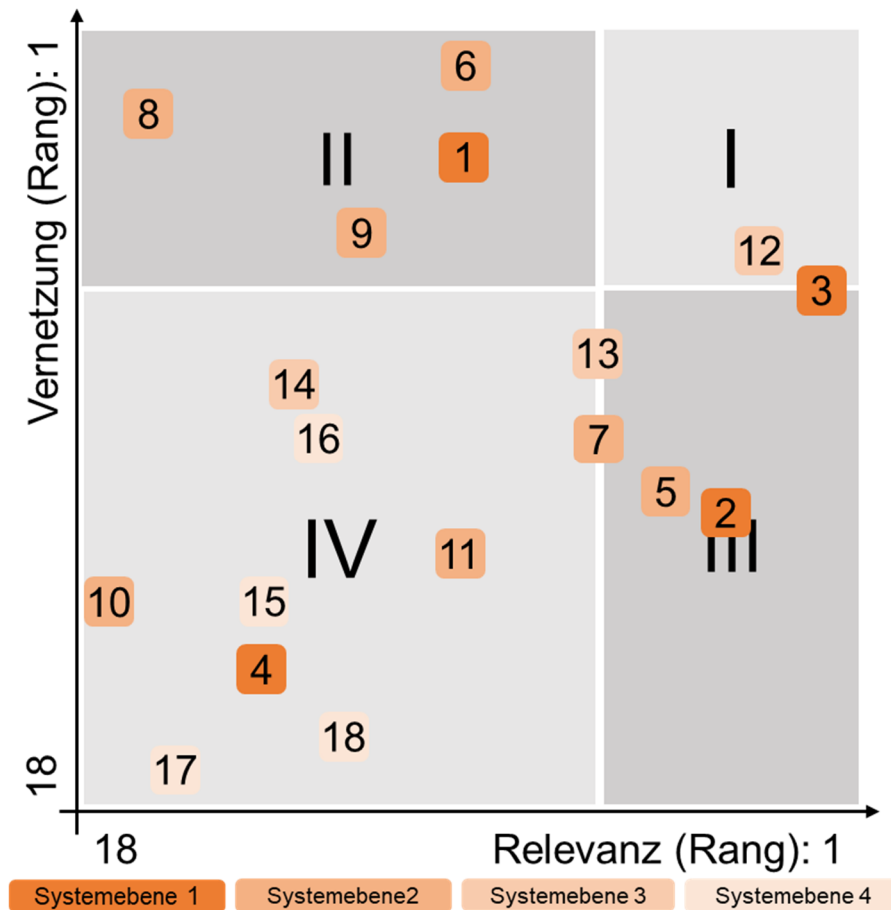


Abbildung 47: Vernetzung-Relevanz-Grid  
Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Fink & Siebe (2016, S. 84)

Die identifizierten acht Schlüsselfaktoren gemäss Tabelle 14 werden für die weitere Szenario-Entwicklung eingesetzt, welche in der folgenden Phase 2, mit der Entwicklung von Zukunfts-Projektionen, weitergeführt wird.

## 7.2 Phase 2: Entwicklung von Zukunfts-Projektionen

Mit der Phase zwei beginnt die eigentliche Entwicklung von Zukunfts-Projektionen. Dabei wird pro Schlüsselfaktor mindestens ein Deskriptor, eine messbare Beschreibung, hinterlegt. Jedem Deskriptor werden mögliche zukünftige Entwicklungen, sogenannte Trends oder Zukunfts-Projektionen, hinterlegt (Stelzer, Heinrich, & Riedl, 2014, S. 451 ff.). Der Deskriptor mit seinen Projektionen wird anschliessend für die Szenario-Bildung in der dritten Phase verwen-

det. Dieses Vorgehen bei der Szenario-Entwicklung weicht von der bisher verfolgten Vorgehensweise von Finke & Siebe leicht ab, da sich deren Ausgestaltung der Zukunfts-Projektionen als zu komplex für diese Master-Thesis erwies.

Bei der Ermittlung der Deskriptoren werden die zuvor pro Einflussbereich definierten Treiber pro Einflussbereich miteinbezogen. Die folgenden acht Schlüsselfaktoren gemäss Tabelle 14 werden im folgenden Kapitel weiterverwendet.

Nr.	Systemebene 1: Kernbereich	Nr.	Systemebene 2: Wertschöpfungskette
1	3D-Drucktechnologie	5	Konstruktion von digitalen 3D-Modellen
2	3D-Druck-Qualität	6	Art der Produktion
3	Materialien und Materialvielfalt	9	Transport und Logistik
Nr.	Systemebene 3: Spezifisches Umfeld	8	Produktionsstandort
12	Technologie-Entwicklung		

Tabelle 14: Identifizierte Schlüsselfaktoren  
Quelle: Eigene Darstellung

## 7.2.1 Projektionen und Dimensionen pro Schlüsselfaktor

Die einzelnen Schlüsselfaktoren werden im nächsten Schritt mittels Deskriptoren und Projektionen beschrieben und quantifizierbar gemacht. Die folgenden Kapitel beschreiben die Deskriptoren und die Projektionen je Schlüsselfaktor.

### 7.2.1.1 Schlüsselfaktor: 3D-Drucktechnologie

Für den Schlüsselfaktor "3D-Drucktechnologie" wurden die folgenden Deskriptoren identifiziert:

- Anteil der fehlerhaft produzierten Teile
- Preisentwicklung pro gedrucktem Bauteil
- Benutzerfreundlichkeit der 3D-Drucker
- Grösse der möglichen Bauteile
- Druckgeschwindigkeit

Die soeben erfassten Deskriptoren für den Schlüsselfaktor "3D-Drucktechnologie" werden wie folgt beschrieben:

#### Anteil der fehlerhaft produzierten Teile

Um ein fertiges Bauteil aus dem 3D-Drucker zu erstellen, müssen Faktoren wie die Materialeigenschaften, Wandstärken, die Eigenheiten des gewählten Druckverfahrens und auch die Eigenschaften des 3D-Druckers selber berücksichtigt werden (3D Activation AG, 2017). Werden

diese Faktoren vernachlässigt, wird ein Bauteil entweder mit ungewollten Eigenschaften produziert oder der Druck bricht bereits bei der Produktion ab. Geschieht dies oft und ist der Ausschuss-Anteil entsprechend hoch, kann sich der 3D-Druck nur schwer etablieren. Die 3D-Drucktechnologie sollte in der Lage sein, den Ausschuss so gering wie möglich zu halten.

Die Projektion für den Deskriptor "Anteil der fehlerhaft produzierten Teile" setzt sich wie folgt zusammen:

1. Der Anteil der fehlerhaft produzierten Teile **sinkt**. Die Technologie ist ausgereift oder es treten aufgrund der eingesetzten Software weniger Fehler auf.
2. Der Anteil der fehlerhaft produzierten Teile **bleibt gleich**. Die Quote der Ausschussteile bleibt konstant, es kann damit kalkuliert werden.
3. Der Anteil der fehlerhaft produzierten Teile **steigt**. Die Druckertechnologie weist zunehmend Fehler auf, es entstehen grössere Mengen an fehlerhaft produzierten Teilen, was den Materialverbrauch unnötig erhöht.

### Preisentwicklung pro gedrucktem Bauteil

Der Preis pro gedrucktem Bauteil ist entscheidend, ob der 3D-Druck auch für Fertigungen mit grösseren Stückzahlen eingesetzt werden kann. Die untenstehende Abbildung 48 zeigt, dass sich die Fertigung mittels 3D-Druck nur bei tieferen Stückzahlen lohnt.

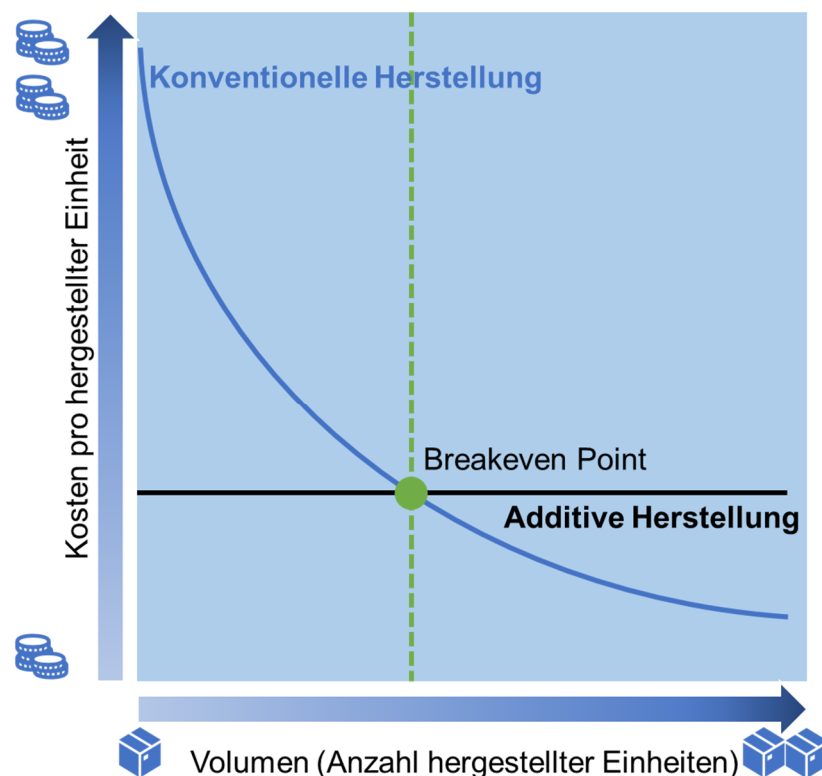


Abbildung 48: Kosten-Analyse des 3D-Drucks im Vergleich mit herkömmlichen Verfahren  
Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Cotteleer & Joyce (2014)

Auch andere Vergleiche zeigen, dass beispielweise die Herstellung mittels CNC-Technik im Vergleich zum 3D-Druck mit grösseren Stückzahlen günstiger ist. So hat Solberg (2016, S. 60 ff.) berechnet, dass die Herstellung eines Aluminium-Bauteils mittels 3D-Druck nur bei sehr geringen Stückzahlen kostengünstiger ist als mittels einer CNC-Maschine.

Die Projektion für den Deskriptor "Preisentwicklung pro gedrucktem Bauteil" setzt sich wie folgt zusammen:

1. Der Preis pro gedrucktem Bauteil **sinkt**. Die Herstellung mittels 3D-Druck gewinnt dadurch an Attraktivität im Vergleich zu herkömmlichen Verfahren.
2. Der Preis pro gedrucktem Bauteil **bleibt gleich**. In der Wahl der Herstellungsverfahren entscheiden andere Faktoren für oder gegen den Einsatz der 3D-Drucktechnologie.
3. Der Preis pro gedrucktem Bauteil **steigt**. Die Attraktivität des 3D-Drucks sinkt. Vor allem Spezialbauteile oder hochpreisige Elemente, welche weniger preissensitiv sind, werden additiv hergestellt.

### Benutzerfreundlichkeit der 3D-Drucker

Gemäss Feldmann & Pumpe (2016, S. 11) schränkt die geringe Benutzerfreundlichkeit der heutigen CAD-Anwendungen für die Erstellung der 3D-Modelle die Nutzung des 3D-Drucks erheblich ein. Auch die Benutzerfreundlichkeit (Usability) der 3D-Drucker-Hardware muss gegeben sein, ansonsten entstehen Fehler in der Produktion und die Benutzer verwenden die Geräte nicht mehr. Die Benutzerfreundlichkeit hat somit Auswirkungen auf die Benutzer-Akzeptanz und damit auch auf die Marktdurchdringung, speziell im Privatkunden-Bereich.

Die Projektion für den Deskriptor "Benutzerfreundlichkeit der 3D-Drucker" setzt sich wie folgt zusammen:

1. Die Benutzerfreundlichkeit **bleibt gleich**. Dies hat keine Auswirkungen auf die Akzeptanz der Benutzer.
2. Die Benutzerfreundlichkeit **verbessert sich**. Die Akzeptanz der Benutzer verbessert sich. Der 3D-Drucker kommt verstärkt zum Einsatz.

### Grösse der möglichen Bauteile

Die Dimensionen des 3D-Druckers sind mitbestimmend, für was der 3D-Druck eingesetzt werden kann. Dank einer grossen Drucker-Arbeitsfläche mit den Dimensionen 1.0 x 0.8 x 0.5 Meter konnte das innovative deutsche Unternehmen StreetSoccer, gegründet im Jahr 2010 im Umfeld der RWTH Aachen, innert kurzer Zeit einen Prototyp eines Elektro-Fahrzeugs bauen. Die Dimensionen des verwendeten 3D-Druckers ermöglichten es beispielweise, ganze Front- und Rückpartien in einem Stück herzustellen (StataSys LTD., 2014).

Die Grösse der 3D-Drucker eröffnet demnach neue Möglichkeiten und damit auch neue Anwendungsfelder. Beispiele für grosse 3D-Drucker wurden bereits im Kapitel 5.4.1 vorgestellt.

Die Projektion für den Deskriptor "Grösse der möglichen Bauteile" setzt sie wie folgt zusammen:

1. Die Grösse der möglichen Bauteile **bleibt gleich**.
2. Die Grösse der möglichen Bauteile **steigt**.

### **Druckgeschwindigkeit**

Ein Nachteil des 3D-Drucks ist der schichtweise Aufbau: Der Drucker muss das Bauteil Schicht für Schicht aufbauen. Dies ist zeitintensiv und dauert teilweise sehr lange. Die Messgrösse für die Geschwindigkeit des 3D-Drucks ist üblicherweise mm/s (Millimeter pro Sekunde). Je schneller ein Drucker arbeitet, desto mehr Materialien (z.B. Filament) pro Zeiteinheit müssen verarbeitet werden (Magazin 3D-Druck, 2017).

Die Druckgeschwindigkeit ist somit relevant für die Effizienz. Eine hohe Druckgeschwindigkeit ermöglicht auch, schneller zu produzieren. Demnach ist die Entwicklung der Druckgeschwindigkeit für die zukünftige Anwendung ein wichtiger Faktor.

Die Projektion für den Deskriptor "Druckgeschwindigkeit" setzt sich wie folgt zusammen:

1. Die Druckgeschwindigkeit **bleibt gleich**. Es gibt keine Effizienzsteigerungen.
2. Die Druckgeschwindigkeit **steigt**. Der 3D-Druck wird effizienter.

### **7.2.1.2 Schlüsselfaktor: 3D-Druck-Qualität**

Für den Schlüsselfaktor "3D-Druck-Qualität" wurde der folgende Deskriptor identifiziert:

- Qualität der Oberflächenbeschaffenheit (Oberflächengüte)

Der soeben erfasste Deskriptor für den Schlüsselfaktor "3D-Druck-Qualität" wird wie folgt beschrieben:

#### **Qualität der Oberflächenbeschaffenheit**

Ein Nachteil des 3D-Drucks ist die Oberflächenbeschaffenheit gedruckter Teile. Je nach 3D-Druck-Methode ist die Qualität der Oberfläche unterschiedlich. Gerade bei Bauteilen mit speziellen Anforderungen an die Oberfläche, beispielsweise weil es gut sichtbar und nicht unter einer Motorhaube versteckt ist, muss eine Nachbearbeitung erfolgen (Schmidt, 2016).

Wird die Nachbearbeitung obsolet, fallen weniger Kosten an und die Zeiten vom Auftragseingang bis zur Auslieferung können verkürzt werden.

Die Projektion für den Deskriptor "Qualität der Oberflächenbeschaffenheit" setzt sich wie folgt zusammen:

1. Die Qualität der Oberflächenbeschaffenheit **bleibt gleich**. Der Aufwand für die Nachbearbeitung bleibt gleich.
2. Die Qualität der Oberflächenbeschaffenheit **steigt**. Der Aufwand für die Nachbearbeitung sinkt.

### 7.2.1.3 Schlüsselfaktor: Materialien und Materialvielfalt

Für den Schlüsselfaktor "Materialien und Materialvielfalt" wurden die folgenden Deskriptoren identifiziert:

- Anzahl verwendbarer Materialien (Materialvielfalt)
- Materialienpreise
- Materialqualität
- Materialverbrauch

Die soeben erfassten Deskriptoren für den Schlüsselfaktor "Materialien und Materialvielfalt" werden wie folgt beschrieben:

#### Anzahl verwendbarer Materialien (Materialvielfalt)

Mit der Anzahl der einsetzbaren Materialien nehmen auch die möglichen Anwendungsbereiche des 3D-Drucks zu. Ein Beispiel dafür, wie zentral die verschiedenen Materialien sind, ist die bereits im Kapitel 5.4.6 erwähnte "Biotinte". Diese Mischung, bestehend aus lebendigen Zellen und einem schützenden Hydro-Gel, erlaubt es, Gewebe oder zukünftig gar Organe zu drucken. Die Verwendung solcher "Biotinte" setzt wiederum spezielle Hardware-Anforderungen voraus (Park, Jang, Lee, & Cho, 2016). Die Materialvielfalt verbreitert demnach das Spektrum möglicher Anwendungen für den 3D-Druck.

Die Projektion für den Deskriptor "Materialvielfalt" setzt sich wie folgt zusammen:

1. Die Materialvielfalt **bleibt gleich**. Die Entwicklung neuer Anwendungsfelder ist eingeschränkt und bleibt in etwa konstant.
2. Die Materialvielfalt **steigt**. Der 3D-Druck erobert neue Anwendungsfelder.
3. Die Materialvielfalt **steigt stark**. Neue Anwendungsfelder entstehen innerhalb kurzer Zeitspannen.

#### Materialienpreise

Gemäss einer Studie der Universität von Nottingham machen die Materialkosten fast einen Drittel der Druckkosten eines 3D-Drucks aus (Holweg, Baumers, & Rowley, 2015). Dabei nicht

eingerechnet sind die Entwicklungskosten eines 3D-Modells. Verringern sich die durchschnittlichen Preise für das Druck-Material, ist dies ein Vorteil zu Gunsten des 3D-Drucks gegenüber herkömmlichen Fertigungsmethoden.

Die Projektion für den Deskriptor "Materialienpreise" setzt sich wie folgt zusammen:

1. Die Materialienpreise **sinken**. Der Wettbewerbsvorteil des 3D-Drucks steigt im Vergleich zu anderen Fertigungsmethoden.
2. Die Materialienpreise **bleiben gleich**. Es gibt keine Veränderung der Attraktivität des 3D-Drucks gegenüber herkömmlichen Fertigungsmethoden.
3. Die Materialienpreise **steigen**. Aufgrund Ressourcen-Knappheit oder stetig erhöhter Komplexität der Materialien steigen die durchschnittlichen Preise. Die Attraktivität des 3D-Drucks sinkt.

### Materialqualität

Die Qualität der Materialien beeinflusst das gedruckte Resultat. Ist die Qualität minderwertig, beispielsweise brüchig oder verändert sich ohne zusätzliche Behandlung bei UV-Bestrahlung (Fastermann, 2012, S. 39), können entsprechend keine hochwertigen Produkte hergestellt werden. Die Qualität der Materialien ist dementsprechend ein Entscheidungsgrund, wofür ein fertiges Bauteil eingesetzt werden kann.

Die Projektion für den Deskriptor "Materialqualität" setzt sich wie folgt zusammen:

1. Die Materialqualität **sinkt**. Es werden vorwiegend einfache Bauteile gedruckt. Die Attraktivität des 3D-Drucks sinkt.
2. Die Materialqualität **bleibt gleich**. Es gibt keine Veränderung der Attraktivität des 3D-Drucks gegenüber herkömmlichen Fertigungsmethoden.
3. Die Materialqualität **steigt**. Es können zunehmend hochwertige, langlebige Bauteile gedruckt werden. Die Attraktivität des 3D-Drucks steigt.

### Materialverbrauch

Bei herkömmlichen Verfahren, bei denen Bauteile aus ganzen Elementen herausgefräst werden, fallen bis zu 90% des Materials als Abfall an. Diese Materialien sind verloren. Mit dem 3D-Druck besteht das Potenzial einer erheblichen Materialeinsparung (Fastermann, Nachhaltigkeit – 3D-Druck als umweltfreundliche Technologie?, 2016, S. 123). Zusätzlich kann dank der aufbauenden Herstellung der Materialverbrauch optimiert werden. Dies ist gerade bei Branchen wie der Flugzeugindustrie oder dem Autobau sehr wichtig und ist ein Argument für den Einsatz des 3D-Drucks (Fastermann, 3D-Druck: eine nachhaltige und Energieeffizienz fördernde Technologie, 2017, S. 303 ff.).

Die Projektion für den Deskriptor "Materialverbrauch" setzt sich wie folgt zusammen:

1. Der Materialverbrauch **sinkt**. Der 3D-Druck wird günstiger in der Anwendung.
2. Der Materialverbrauch **bleibt gleich**. Die Kosten in der Anwendung bleiben konstant.
3. Der Materialverbrauch **steigt**. Der 3D-Druck wird teurer in der Anwendung.

#### 7.2.1.4 Schlüsselfaktor: Konstruktion von digitalen 3D-Modellen

Für den Schlüsselfaktor "Konstruktion von digitalen 3D-Modellen" wurde der folgende Deskriptor identifiziert:

- Aufwand pro erstelltem 3D-Modell

Der soeben erfasste Deskriptor für den Schlüsselfaktor "Konstruktion von digitalen 3D-Modellen" wird wie folgt beschrieben:

##### Aufwand pro erstelltem 3D-Modell

Die Entwicklung des 3D-Modells für den anschliessenden 3D-Druck mittels CAD-Software muss mehrheitlich manuell gemacht werden und erfordert ein ganz bestimmtes Wissen. Der Prozess kann zwar teilweise mittels 3D-Scanner vereinfacht werden, trotzdem müssen die 3D-Modelle am Computer fertig erstellt werden. Eine Studie über die additive Fertigung im Leichtbau aus Baden-Württemberg (Leichtbau BW GmbH - Landesagentur für Leichtbau Baden-Württemberg, 2015) zeigt, dass mit der additiven Fertigung die Digitalisierung zunimmt, da die 3D-Modelle zuerst am Computer "konstruiert" werden müssen. Die Aufwände der Erstellung des 3D-Modells müssen demnach in die effektiven Herstellungskosten eingerechnet werden. Dies kann jedoch relativiert werden, denn der prozentuale Aufwand für die Erstellung des 3D-Modells verringert sich mit jedem hergestellten Objekt, da die Aufwände auf mehrere Objekte verteilt werden können. Trotzdem ist der Aufwand für die Erstellung des digitalen Modells ein wichtiger Kostenpunkt, vor allem wenn, aufgrund von Individualisierungen, nur geringe Stückzahlen pro Objekt gedruckt werden.

Die Projektion für den Deskriptor "Aufwand pro erstelltem 3D-Modell" setzt sich wie folgt zusammen:

1. Der Aufwand pro erstelltem 3D-Modell **sinkt**. Die effektiven Herstellungskosten der gedruckten Bauteile sinken.
2. Der Aufwand pro erstelltem 3D-Modell **bleibt gleich**. Die effektiven Herstellungskosten der gedruckten Bauteile bleiben konstant.
3. Der Aufwand pro erstelltem 3D-Modell **steigt**. Die effektiven Herstellungskosten der gedruckten Bauteile steigen.



### 7.2.1.5 Schlüsselfaktor: Art der Produktion

Für den Schlüsselfaktor "Art der Produktion" wurden die folgenden Deskriptoren identifiziert:

- Nachfrage nach Individualisierungen
- Kosten für die Ersatzteil-Lagerung

Die soeben erfassten Deskriptoren für den Schlüsselfaktor "Konstruktion von digitalen 3D-Modellen" werden wie folgt beschrieben:

#### Nachfrage nach Individualisierungen

Der 3D-Druck ermöglicht die Produktion von individualisierten Produkten. Somit sind die Nachfrage und das Bedürfnis nach Individualisierungen ein Treiber für den 3D-Druck.

Die Projektion für den Deskriptor "Nachfrage nach Individualisierungen" setzt sich wie folgt zusammen:

1. Die Nachfrage nach Individualisierungen **sinkt**. Der 3D-Druck kann einen seiner Vorteile gegenüber herkömmlichen Fertigungsmethoden nicht ausspielen. Die Fertigung mittels 3D-Druck verliert an Attraktivität.
2. Die Nachfrage nach Individualisierungen **bleibt gleich**.
3. Die Nachfrage nach Individualisierungen **steigt**. Die Fertigung mittels 3D-Druck gewinnt an Attraktivität.

#### Kosten für die Ersatzteil-Lagerung

Neben der eigentlichen Produktion werden auch Ersatzteile hergestellt und zum Kunden transportiert. Die Produktion erfolgt oftmals zentral oder es werden Ersatzteile gelagert. Diese Lagerung verursacht Kosten. Erlaubt es die 3D-Druck-Technologie Ersatzteile direkt bei Bedarf herzustellen, können diese Kosten reduziert werden. Bei hohen Kosten für die Lagerung steigt die Attraktivität dieser Möglichkeit mit dem 3D-Druck.

Die Projektion für den Deskriptor "Kosten für die Ersatzteil-Lagerung" setzt sich wie folgt zusammen:

1. Die Kosten für die Ersatzteil-Lagerung **sinken**. Ersatzteile können kostengünstiger gelagert werden. Die Produktion erfolgt oftmals auf Vorrat.
2. Die Kosten für die Ersatzteil-Lagerung **bleiben gleich**. Das bisherige Ersatzteilmanagement wird weiterhin angewendet.
3. Die Kosten für die Ersatzteil-Lagerung **steigen**. Die Lagerung von Ersatzteilen verliert an Attraktivität. Es wird vermehrt nur dann produziert, wenn ein Ersatzteil benötigt wird.

#### 7.2.1.6 Schlüsselfaktor: Produktionsstandort

Für den Schlüsselfaktor "Produktionsstandort" wurde der folgende Deskriptor identifiziert:

- Anteil der Vor-Ort-Druckkapazitäten

Der soeben erfasste Deskriptor für den Schlüsselfaktor "Produktionsstandort" wird wie folgt beschrieben:

##### **Anteil der Vor-Ort-Druckkapazitäten**

Werden lokale 3D-Druckkapazitäten aufgebaut, ermöglicht dies zunehmend die dezentrale, kundennahe Produktion. Das Beispiel von dem Unternehmen UPS (**UPS Inc., 2016**), welches begonnen hat, ein Netzwerk von 3D-Druck-Stores zu eröffnen, zeigt, dass dies möglich ist. In der Schweiz gibt es beispielsweise mit den FabLabs (**Swiss FabLabs, 2017**) ebenfalls die Möglichkeit, eine 3D-Drucker-Infrastruktur zu nutzen.

Die Projektion für den Deskriptor "Anteil der Vor-Ort-Druckkapazitäten" setzt sich wie folgt zusammen:

1. Der Anteil der Vor-Ort-Druckkapazitäten **sinkt**.
2. Der Anteil der Vor-Ort-Druckkapazitäten **bleibt gleich**.
3. Der Anteil der Vor-Ort-Druckkapazitäten **steigt**.
4. Der Anteil der Vor-Ort-Druckkapazitäten **steigt stark**.

#### 7.2.1.7 Schlüsselfaktor: Transport und Logistik

Für den Schlüsselfaktor "Transport und Logistik" wurden die folgenden Deskriptoren identifiziert:

- Anteil individueller Lieferverkehr
- Transportkosten
- Anteil Ersatzteil-Transport

Die soeben erfassten Deskriptoren für den Schlüsselfaktor "Transport und Logistik" werden wie folgt beschrieben:

##### **Anteil individueller Lieferverkehr**

Die additive Fertigung wird wachsen und, gemäss einer Studie von McKinsey (Cohen, Sargeant, & Somers, 2014) aus dem Jahr 2014, bis ins Jahr 2025 ein Marktvolumen von bis zu 550 Milliarden US-Dollar haben. Damit wird auch die Nachfrage nach Druckmaterialien steigen. Diese wiederum müssen vom Hersteller zum Produzenten gelangen und von dort zum Endkunden. Gerade die Lieferung zum Kunden wird zunehmend "individualisiert", da weniger

fertige Produkte aufgrund des 3D-Drucks über grosse Distanzen transportiert werden müssen, sondern der Transport vermehrt lokal stattfinden kann. Verändert sich der Anteil des individuellen Lieferverkehrs, kann dies auch Auswirkungen auf den globalen Transport von Waren haben. Ob in 15 Jahren nur noch Rohmaterialien und 3D-Drucker-Kartuschen transportiert werden, kann heute noch nicht gesagt werden. Aber es ist ein mögliches Zukunfts-Szenario.

Die Projektion für den Deskriptor "Anteil individueller Lieferverkehr" setzt sich wie folgt zusammen:

1. Der Anteil des individuellen Lieferverkehrs **bleibt gleich**.
2. Der Anteil des individuellen Lieferverkehrs **steigt**. Es werden zunehmend mehr Materialien für den 3D-Druck transportiert. Die Transportwege der hergestellten Produkte werden kürzer.
3. Der Anteil des individuellen Lieferverkehrs **steigt stark**. Es werden mehr Materialien für den 3D-Druck transportiert. Die Produktion erfolgt daher zunehmend lokal.

### Transportkosten

Die Transportkosten entscheiden, ob sich der Transport von Waren über grosse Distanzen lohnt. Steigen die Transportkosten (z.B. wegen Konflikten und Unsicherheiten), kann es zu einer Verlagerung der Produktion zum Beispiel in die Absatzmarkt-Regionen kommen. Sind die Kosten für den Transport tief, ist dieser Anreiz nicht vorhanden. Der 3D-Druck wird dahingehend durch die Transportkosten beeinflusst, dass der Anreiz einer lokalen Produktion im Falle einer Steigerung der Transportkosten zunimmt und dementsprechend eine Verlagerung der Produktion stattfindet. Dies kann die Etablierung der additiven Fertigung unterstützen.

Die Projektion für den Deskriptor "Transportkosten" setzt sich wie folgt zusammen:

1. Die Transportkosten **sinken**.
2. Die Transportkosten **bleiben gleich**.
3. Die Transportkosten **steigen**.

### 7.2.1.8 Schlüsselfaktor: Technologie-Entwicklung

Für den Schlüsselfaktor "Technologie-Entwicklung" wurde der folgende Deskriptor identifiziert:

- Automatisierungsgrad der 3D-Druck-Technologie

Der soeben erfasste Deskriptor für den Schlüsselfaktor "Technologie-Entwicklung" wird wie folgt beschrieben:

#### Automatisierungsgrad der 3D-Druck-Technologie

Der Prozess des 3D-Drucks umfasst, wie in der Tabelle 5 dargestellt, grundsätzlich drei Stufen: Die Vorbereitung, den Druck und die Nachbearbeitung. Die Vorbereitung und die Nachbearbeitung sind oftmals noch manuelle Tasks. Können diese Tasks automatisiert werden, sinken einerseits die Aufwände, andererseits kann die Produktion beschleunigt werden. Ein hoher Automatisierungsgrad ermöglicht ausserdem eine möglichst autonome Produktion von grossen Stückzahlen. Kann der Automatisierungsgrad erhöht werden, eröffnet dies zusätzliche Möglichkeiten im Bereich des "Mass Customization", der kundenindividuellen Massenproduktion.

Die Projektion für den Deskriptor "Automatisierungsgrad der 3D-Druck-Technologie" setzt sich wie folgt zusammen:

1. Der Automatisierungsgrad der 3D-Druck-Technologie **bleibt gleich**. Die Aufwände für die Fertigung mittels des 3D-Drucks bleiben konstant.
2. Der Automatisierungsgrad der 3D-Druck-Technologie **steigt**. Die Aufwände für die Fertigung mittels des 3D-Drucks sinken.
3. Der Automatisierungsgrad der 3D-Druck-Technologie **steigt stark**. Die Aufwände für die Fertigung mittels des 3D-Drucks sinken erheblich.

### 7.3 Phase 3: Entwicklung von Szenarien

Nachdem alle Schlüsselfaktoren identifiziert und die Deskriptoren mittels Projektionen hinterlegt wurden, erfolgt der Schritt der Szenarien-Entwicklung. Dazu wird gemäss Fink & Siebe (Fink & Siebe, 2016, S. 120) ein sogenannter morphologischer Kasten, wie in der Tabelle 15 dargestellt, erstellt.

Zur Identifikation von Szenarien werden zwei oder drei Projektionen als Auslöser definiert. Diese Auslöser beeinflussen anschliessend die anderen Schlüsselfaktoren, welche zu einem Projektions-Bündel zusammengefasst werden. Pro Projektions-Bündel wird anschliessend ein Szenario beschrieben.

Schlüsselfaktoren		Deskriptoren	Projektionen			
1	3D-Drucktechnologie	Anteil der fehlerhaft produzierten Teile	Sinkt	Bleibt gleich	Steigt	
		Preisentwicklung pro gedrucktem Bauteil	Sinkt	Bleibt gleich	Steigt	
		Benutzerfreundlichkeit der 3D-Drucker		Bleibt gleich	Verbessert sich	
		Grösse der möglichen Bauteile		Bleibt gleich	Steigt	
		Druckgeschwindigkeit		Bleibt gleich	Steigt	
2	3D-Druck-Qualität	Qualität der Oberflächenbeschaffenheit		Bleibt gleich	Steigt	
3	Materialien und Materialvielfalt	Anzahl verwendbarer Materialien		Bleibt gleich	Steigt	Steigt stark
		Materialienpreise	Sinken	Bleiben gleich	Steigen	
		Materialqualität	Sinkt	Bleibt gleich	Steigt	
		Materialverbrauch	Sinkt	Bleibt gleich	Steigt	
5	Konstruktion von digitalen 3D-Modellen	Aufwand pro erstelltem 3D-Modell	Sinkt	Bleibt gleich	Steigt	
6	Art der Produktion	Nachfrage nach Individualisierungen	Sinkt	Bleibt gleich	Steigt	
		Kosten für die Ersatzteil-Lagerung	Sinken	Bleiben gleich	Steigen	
8	Produktionsstandort	Anteil der Vor-Ort-Druckkapazitäten	Sinkt	Bleibt gleich	Steigt	Steigt stark
9	Transport und Logistik	Anteil individueller Lieferverkehr		Bleibt gleich	Steigt	Steigt stark
		Transportkosten	Sinken	Bleiben gleich	Steigen	
12	Technologie-Entwicklung	Automatisierungsgrad der 3D-Druck-Technologie		Bleibt gleich	Steigt	Steigt stark

Tabelle 15: Morphologischer Kasten zur Szenarien-Entwicklung  
Quelle: Eigene Darstellung

Die nachfolgenden Projektions-Bündel sind durch den Autor frei gewählt. Die jeweiligen Abhängigkeiten unter den verschiedenen Projektionen im Projektions-Bündel werden kurz beschrieben. Anhand dieser Projektions-Bündel werden im Folgenden die Auswirkungen auf die Wertschöpfungs-Systeme mittels Szenarien dargestellt.

### 7.3.1 Szenario 1: Fortschritte in der 3D-Druck-Technologie-Entwicklung

Der Ausgangspunkt für das erste Szenario ist die technologische Entwicklung des 3D-Drucks. Dies zeigt sich am reduzierten Anteil an fehlerhaft produzierten Teilen, an einer Erhöhung der Druckgeschwindigkeit und einer gesteigerten Automatisierung bei der Produktion. In der Tabelle 16 sind diese drei Projektionen entsprechend gekennzeichnet.

Als Folge des technologischen Fortschritts sinken auch die Preise pro gedrucktem Bauteil und die Oberflächengüte nimmt zu. Im Bereich der Materialien nimmt die Qualität zu und aufgrund der tieferen Fehlerquote sinkt auch der Materialverbrauch.

Im Bereich der Konstruktion ändert sich nichts. Dagegen hält der generelle Trend nach möglichst individualisierten Produkten an. Im Bereich des Transports sind keine Veränderungen zu erwarten, jedoch könnte der Anteil des individuellen Lieferverkehrs aufgrund der Nachfrage nach Individual-Lösungen ebenfalls steigen.

Die bisher nicht erwähnten Deskriptoren bleiben gleich, respektive werden nicht direkt von den drei Auslösern beeinflusst.

Schlüsselfaktoren		Deskriptoren	Projektionen			
1	3D-Drucktechnologie	Anteil der fehlerhaft produzierten Teile	Sinkt	Bleibt gleich	Steigt	
		Preisentwicklung pro gedrucktem Bauteil	Sinkt	Bleibt gleich	Steigt	
		Benutzerfreundlichkeit der 3D-Drucker		Bleibt gleich	Verbessert sich	
		Grösse der möglichen Bauteile		Bleibt gleich	Steigt	
		Druckgeschwindigkeit		Bleibt gleich	Steigt	
2	3D-Druck-Qualität	Qualität der Oberflächenbeschaffenheit		Bleibt gleich	Steigt	
3	Materialien und Materialvielfalt	Anzahl verwendbarer Materialien		Bleibt gleich	Steigt	Steigt stark
		Materialienpreise	Sinken	Bleiben gleich	Steigen	
		Materialqualität	Sinkt	Bleibt gleich	Steigt	
		Materialverbrauch	Sinkt	Bleibt gleich	Steigt	
5	Konstruktion von digitalen 3D-Modellen	Aufwand pro erstelltem 3D-Modell	Sinkt	Bleibt gleich	Steigt	
6	Art der Produktion	Nachfrage nach Individualisierungen	Sinkt	Bleibt gleich	Steigt	
		Kosten für die Ersatzteil-Lagerung	Sinken	Bleiben gleich	Steigen	
8	Produktionsstandort	Anteil der Vor-Ort-Druckkapazitäten	Sinkt	Bleibt gleich	Steigt	Steigt stark
9	Transport und Logistik	Anteil individueller Lieferverkehr		Bleibt gleich	Steigt	Steigt stark
		Transportkosten	Sinken	Bleiben gleich	Steigen	
12	Technologie-Entwicklung	Automatisierungsgrad der 3D-Druck-Technologie		Bleibt gleich	Steigt	Steigt stark

**Auslöser**      **Szenario-Element**

Tabelle 16: Projektions-Bündel 1 - Fortschritte in der Technologie-Entwicklung  
Quelle: Eigene Darstellung

Das Ziel dieses Szenarios lautet wie folgt: Die Technologie des 3D-Drucks wird gezielt in die bestehende Wertschöpfungskette integriert.

### **7.3.2 Szenario 2: Steigende Nachfrage nach Individualisierungen mit technologischem Fortschritt**

Der Ausgangspunkt für das zweite Szenario ist eine gestiegene Nachfrage nach individualisierten Produkten. Aufgrund dieser Nachfrage wird die generelle Bedienung der 3D-Drucker verbessert und die Oberflächengüte leicht gesteigert. Dies vor dem Hintergrund, dass damit das Anwendungs-Potenzial im Consumer-Bereich verbessert wird.

Ansonsten bleibt die technologische Entwicklung, bis auf die verbesserte Materialqualität, gleich. Im Bereich der Produktion und der Logistik gibt es lokale Kapazitätserhöhungen und der Anteil des individuellen Lieferverkehrs nimmt zu.

Aufgrund der verbesserten Bedienungsfreundlichkeit der Geräte nimmt auch der Aufwand für die digitale Konstruktion leicht ab, der Preis pro gedrucktem Bauteil bleibt aber in etwa stabil. Dieses Projektions-Bündel ist in der untenstehenden Tabelle 17 dargestellt. Die drei Auslöser sind entsprechend gekennzeichnet.

Schlüsselfaktoren		Deskriptoren	Projektionen			
1	3D-Drucktechnologie	Anteil der fehlerhaft produzierten Teile	Sinkt	Bleibt gleich	Steigt	
		Preisentwicklung pro gedrucktem Bauteil	Sinkt	Bleibt gleich	Steigt	
		Benutzerfreundlichkeit der 3D-Drucker		Bleibt gleich	Verbessert sich	
		Grösse der möglichen Bauteile		Bleibt gleich	Steigt	
		Druckgeschwindigkeit		Bleibt gleich	Steigt	
2	3D-Druck-Qualität	Qualität der Oberflächenbeschaffenheit		Bleibt gleich	Steigt	
3	Materialien und Materialvielfalt	Anzahl verwendbarer Materialien		Bleibt gleich	Steigt	Steigt stark
		Materialienpreise	Sinken	Bleiben gleich	Steigen	
		Materialqualität	Sinkt	Bleibt gleich	Steigt	
		Materialverbrauch	Sinkt	Bleibt gleich	Steigt	
5	Konstruktion von digitalen 3D-Modellen	Aufwand pro erstelltem 3D-Modell	Sinkt	Bleibt gleich	Steigt	
6	Art der Produktion	Nachfrage nach Individualisierungen	Sinkt	Bleibt gleich	Steigt	
		Kosten für die Ersatzteil-Lagerung	Sinken	Bleiben gleich	Steigen	
8	Produktionsstandort	Anteil der Vor-Ort-Druckkapazitäten	Sinkt	Bleibt gleich	Steigt	Steigt stark
9	Transport und Logistik	Anteil individueller Lieferverkehr		Bleibt gleich	Steigt	Steigt stark
		Transportkosten	Sinken	Bleiben gleich	Steigen	
12	Technologie-Entwicklung	Automatisierungsgrad der 3D-Druck-Technologie		Bleibt gleich	Steigt	Steigt stark

Auslöser	Szenario-Element
----------	------------------

Tabelle 17: Projektions-Bündel 2 - Steigende Nachfrage nach Individualisierungen  
 Quelle: Eigene Darstellung

Das Ziel dieses Szenarios lautet wie folgt: Mittels der Integration des 3D-Drucks in der Wertschöpfungskette wird aufgezeigt, wie das gestiegene Kunden-Bedürfnis nach individuell ausgestalteten Produkten erreicht werden kann.

### 7.3.3 Szenario 3: Anstieg der Logistik-Kosten

Ausgangslage für das dritte Projektions-Bündel ist der Anstieg der Kosten für Logistik und Transport sowie der technologischen Entwicklung im Bereich der Drucktechnologie, der Materialien und der Automatisierung.

Der generelle Trend der Individualisierung hält an. Damit verbunden ist auch eine Steigerung der Vor-Ort-Druckkapazitäten und ein erhöhter individueller Lieferverkehr. Die anderen Projektionen bleiben stabil.



Die Auslöser für dieses Projektions-Bündel und die damit verbundenen Projektionen sind in der Tabelle 18 dargestellt.

Schlüsselfaktoren		Deskriptoren	Projektionen			
1	3D-Drucktechnologie	Anteil der fehlerhaft produzierten Teile	Sinkt	Bleibt gleich	Steigt	
		Preisentwicklung pro gedrucktem Bauteil	Sinkt	Bleibt gleich	Steigt	
		Benutzerfreundlichkeit der 3D-Drucker		Bleibt gleich	Verbessert sich	
		Grösse der möglichen Bauteile		Bleibt gleich	Steigt	
		Druckgeschwindigkeit		Bleibt gleich	Steigt	
2	3D-Druck-Qualität	Qualität der Oberflächenbeschaffenheit		Bleibt gleich	Steigt	
3	Materialien und Materialvielfalt	Anzahl verwendbarer Materialien		Bleibt gleich	Steigt	Steigt stark
		Materialienpreise	Sinken	Bleiben gleich	Steigen	
		Materialqualität	Sinkt	Bleibt gleich	Steigt	
		Materialverbrauch	Sinkt	Bleibt gleich	Steigt	
5	Konstruktion von digitalen 3D-Modellen	Aufwand pro erstelltem 3D-Modell	Sinkt	Bleibt gleich	Steigt	
6	Art der Produktion	Nachfrage nach Individualisierungen	Sinkt	Bleibt gleich	Steigt	
		Kosten für die Ersatzteil-Lagerung	Sinken	Bleiben gleich	Steigen	
8	Produktionsstandort	Anteil der Vor-Ort-Druckkapazitäten	Sinkt	Bleibt gleich	Steigt	Steigt stark
9	Transport und Logistik	Anteil individueller Lieferverkehr		Bleibt gleich	Steigt	Steigt stark
		Transportkosten	Sinken	Bleiben gleich	Steigen	
12	Technologie-Entwicklung	Automatisierungsgrad der 3D-Druck-Technologie		Bleibt gleich	Steigt	Steigt stark

<b>Auslöser</b>	<b>Szenario-Element</b>
-----------------	-------------------------

Tabelle 18: Projektions-Bündel 3 - Anstieg der Logistik-Kosten  
Quelle: Eigene Darstellung

Das Ziel dieses Szenarios lautet wie folgt: Mit der Integration des 3D-Drucks in die bestehende Wertschöpfungs-Kette werden die notwendigen Transporte reduziert.

### 7.3.4 Szenario 4: Dezentrale Produktion und Digitalisierung des Produkts

Ausgangslage für das vierte Projektions-Bündel sind stark gestiegene Kapazitäten des 3D-Drucks an dezentralen Standorten. Dies bedeutet, dass es vermehrt 3D-Druck-Shops gibt oder Anbieter, die den 3D-Druck für andere Unternehmen übernehmen. Die Produktion wird entsprechend verlagert. Weiter ist die Nachfrage nach individuellen Produkten nach wie vor hoch, ebenso steigen die Kosten für die Ersatzteillagerung.

Ansonsten gibt es in diesem Szenario-Bündel nur die verbesserte Fehlerquote bei den Ausschussteilen, die erhöhte Bedienungsfreundlichkeit und die verbesserte Druckgeschwindigkeit. Die Materialqualität steigt ebenfalls und reduziert damit den Aufwand für die Nachbearbeitung.

Der Anteil des individuellen Lieferverkehrs steigt an, da die dezentralen 3D-Druck-Kapazitäten eine vermehrte lokale Auslieferung der gedruckten Objekte erfordert. Generell steigen aber die Transportkosten.

Die Auslöser für dieses Projektions-Bündel und die damit verbundenen Projektionen sind in der Tabelle 19 dargestellt.

Schlüsselfaktoren		Deskriptoren	Projektionen			
1	3D-Drucktechnologie	Anteil der fehlerhaft produzierten Teile	Sinkt	Bleibt gleich	Steigt	
		Preisentwicklung pro gedrucktem Bauteil	Sinkt	Bleibt gleich	Steigt	
		Benutzerfreundlichkeit der 3D-Drucker		Bleibt gleich	Verbessert sich	
		Grösse der möglichen Bauteile		Bleibt gleich	Steigt	
		Druckgeschwindigkeit		Bleibt gleich	Steigt	
2	3D-Druck-Qualität	Qualität der Oberflächenbeschaffenheit		Bleibt gleich	Steigt	
3	Materialien und Materialvielfalt	Anzahl verwendbarer Materialien		Bleibt gleich	Steigt	Steigt stark
		Materialienpreise	Sinken	Bleiben gleich	Steigen	
		Materialqualität	Sinkt	Bleibt gleich	Steigt	
		Materialverbrauch	Sinkt	Bleibt gleich	Steigt	
5	Konstruktion von digitalen 3D-Modellen	Aufwand pro erstelltem 3D-Modell	Sinkt	Bleibt gleich	Steigt	
6	Art der Produktion	Nachfrage nach Individualisierungen	Sinkt	Bleibt gleich	Steigt	
		Kosten für die Ersatzteil-Lagerung	Sinken	Bleiben gleich	Steigen	
8	Produktionsstandort	Anteil der Vor-Ort-Druckkapazitäten	Sinkt	Bleibt gleich	Steigt	Steigt stark
9	Transport und Logistik	Anteil individueller Lieferverkehr		Bleibt gleich	Steigt	Steigt stark
		Transportkosten	Sinken	Bleiben gleich	Steigen	
12	Technologie-Entwicklung	Automatisierungsgrad der 3D-Druck-Technologie		Bleibt gleich	Steigt	Steigt stark

<b>Auslöser</b>	<b>Szenario-Element</b>
-----------------	-------------------------

Tabelle 19: Projektions-Bündel 4 - Dezentrale Produktion  
Quelle: Eigene Darstellung

Das Ziel dieses Szenarios lautet wie folgt: Die Produkte werden soweit als möglich lokal hergestellt, um die Transport- und Ersatzteillagerkosten zu minimieren.

## 8 Auswirkungen des 3D-Drucks auf die Wertschöpfungs- und Lieferketten

Die obigen Szenarien umschreiben mögliche zukünftige Entwicklungen des 3D-Drucks. Anhand dieser Szenarien werden in diesem Kapitel mögliche Auswirkungen auf Wertschöpfungs- und Lieferketten aufgezeigt und beschrieben. Das Ziel dabei ist, die im Kapitel 1.3 definierte zweite Forschungsfrage *"Wie können additive Fertigungsmethoden bestehende Wertschöpfungs- und Lieferketten nachhaltig beeinflussen?"* zu beantworten. Dies entspricht dem Schritt der Szenario-Interpretation gemäss dem Ablauf der Szenario-Entwicklung nach Fink & Siebe (2016, S. 123 ff.). Dabei werden wiederum Annahmen getroffen, um mögliche Konsequenzen aufzuzeigen.



Abbildung 49: Thermoskanne  
Quelle: eBay (2017)

Um aufzeigen zu können, wie sich die Wertschöpfungs- und Lieferketten aufgrund des vermehrten Einsatzes des 3D-Drucks verändern, wird mit einem allgemeinen, beispielhaften Schema eines Wertschöpfungssystems gearbeitet. Das Produkt, welches in diesem fiktiven Wertschöpfungssystem hergestellt wird, ist eine Thermoskanne. Diese besteht gemäss der nebenstehenden Abbildung 49 aus verschiedenen Komponenten, welche wiederum aus unterschiedlichen Materialien bestehen.

Im hier verwendeten fiktiven Wertschöpfungssystem werden die Edelstahlteile (zur Vereinfachung wird Aluminium in den Szenarien verwendet) in der Schweiz hergestellt, die anderen Teile (Halbfabrikate) werden

im Ausland produziert. Der Zusammenbau zum Fertigfabrikat findet ebenfalls in der Schweiz statt, von wo aus die fertigen Flaschen in die ganze Welt verkauft werden. Ebenso sind die Entwicklung und der Vertrieb in der Schweiz angesiedelt. Die ganze Beschreibung dieser IST-Wertschöpfungskette erfolgt im nächsten Kapitel.

Es ist nochmals darauf hinzuweisen, dass das obige Beispiel der Thermoskanne fiktiv ist. Die genauen Herstellungsprozesse einer solchen Thermoskanne sind dem Autor nicht bekannt.

## 8.1 Beschreibung der IST-Wertschöpfungskette in der Produktion

Die ersten Schritte in der Wertschöpfungskette für die Thermoskanne sind die Gewinnung der Rohstoffe und die Produktion von Halbfabrikaten. Im Falle der als Beispiel verwendeten Thermoskanne ist dies die Herstellung von Polypropylen-Kunststoff (PP) für die Produktion der Verschlusskappe und der Trinkkippe sowie die Gewinnung von Silizium und Aluminium. Aus dem Silizium entsteht anschliessend in einem chemischen Verfahren Silikon (Wikipedia, 2017). Aus dem abgebauten Bauxit wird Aluminium hergestellt (Aluminium-Verband Schweiz, 2017).

Dieser erste Teil der Wertschöpfungskette ist in der folgenden Abbildung 50 dargestellt. Dabei wurden auch Annahmen getroffen, wo diese Schritte jeweils stattfinden. Anhand der Darstellung ist ersichtlich, dass mehrere Lieferanten und Zulieferer existieren. Für die Herstellung der Verschlusskappe und der Trinkkippe fallen intern mehrere Produktionsschritte an, welche, zwecks Vereinfachung, hier nicht dargestellt sind.

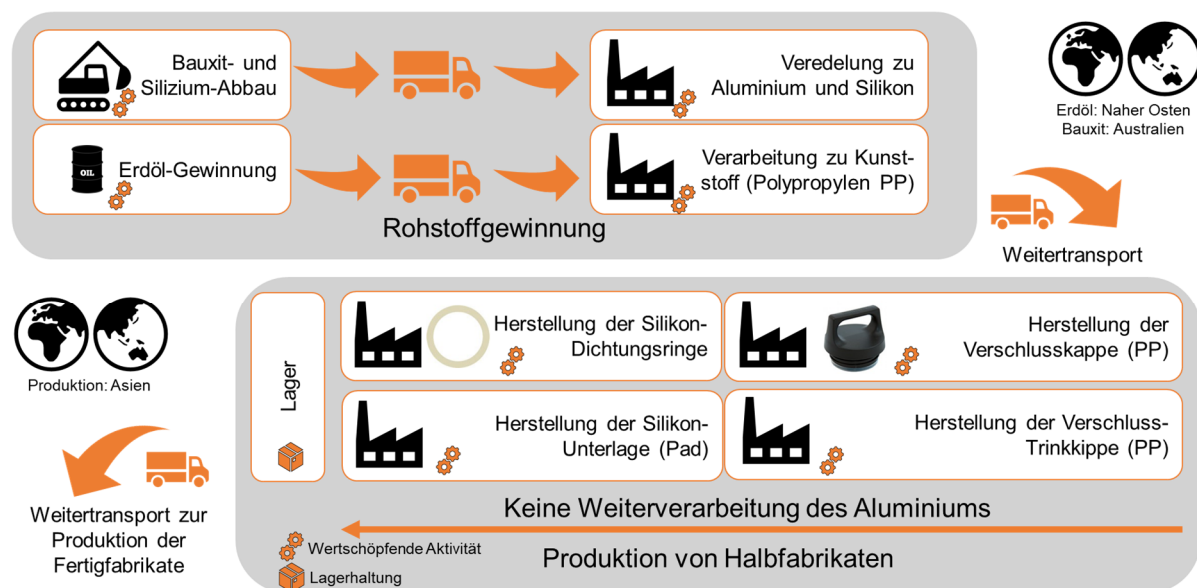


Abbildung 50: Rohstoffgewinnung und Fertigung der Halbfabrikate  
Quelle: Eigene Darstellung

Die nachfolgende Abbildung 51 zeigt die eigentliche Produktion der Thermoskanne in der Wertschöpfungskette. Aus den zuvor hergestellten Halbfabrikaten wird über verschiedene wertschöpfende Produktionsschritte mit unterschiedlichen Verfahren die Thermoskanne fertiggestellt. Dabei müssen die einzelnen Komponenten am Schluss zusammengebaut werden. Dazwischen kommt es immer wieder zur Zwischenlagerung der Halb- und Fertigfabrikate. Die

fertigen Thermoskannen werden durch den Vertrieb an die weltweiten Distributoren und Abnehmer verschickt.

Werden Ersatzteile benötigt, werden diese von den Verkaufspunkten beim Kundendienst bestellt (blauer Pfeil rechts oben in der Abbildung). Dieser veranlasst dann entweder die entsprechende Produktion oder die benötigten Teile werden aus dem Lager verschickt.

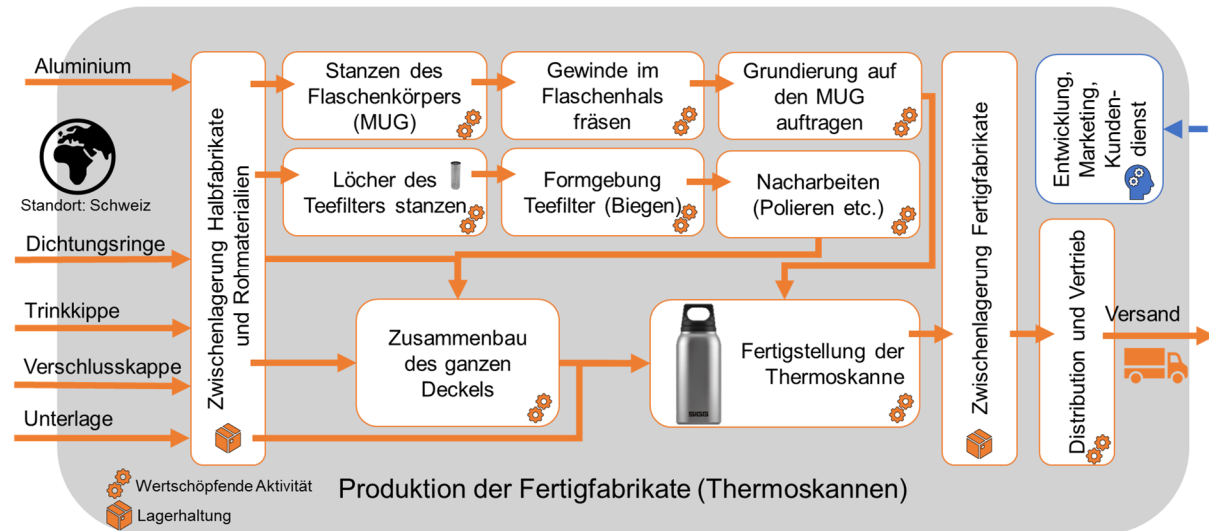


Abbildung 51: Produktion der Fertigfabrikate  
Quelle: Eigene Darstellung

Nachdem die Fertigprodukte den Herstellungsprozess verlassen haben, werden diese zu den weltweiten Distributoren versandt. Diese führen ein eigenes Lager und beliefern daraus die effektiven Verkaufsstellen (Point of Sale), wo die Kunden das Produkt betrachten und erwerben können. Damit endet die primäre Wertschöpfungskette.

Wird ein Ersatzteil benötigt oder wird der Deckel in einer anderen Farbe gewünscht (die Flasche selber ist immer einheitlich eingefärbt), wird dies zurückgemeldet und allenfalls sogar neu produziert. Auf diese sekundäre Wertschöpfungskette wird jedoch nicht im Detail eingegangen. Die untenstehende Abbildung 52 verdeutlicht diesen Prozess.

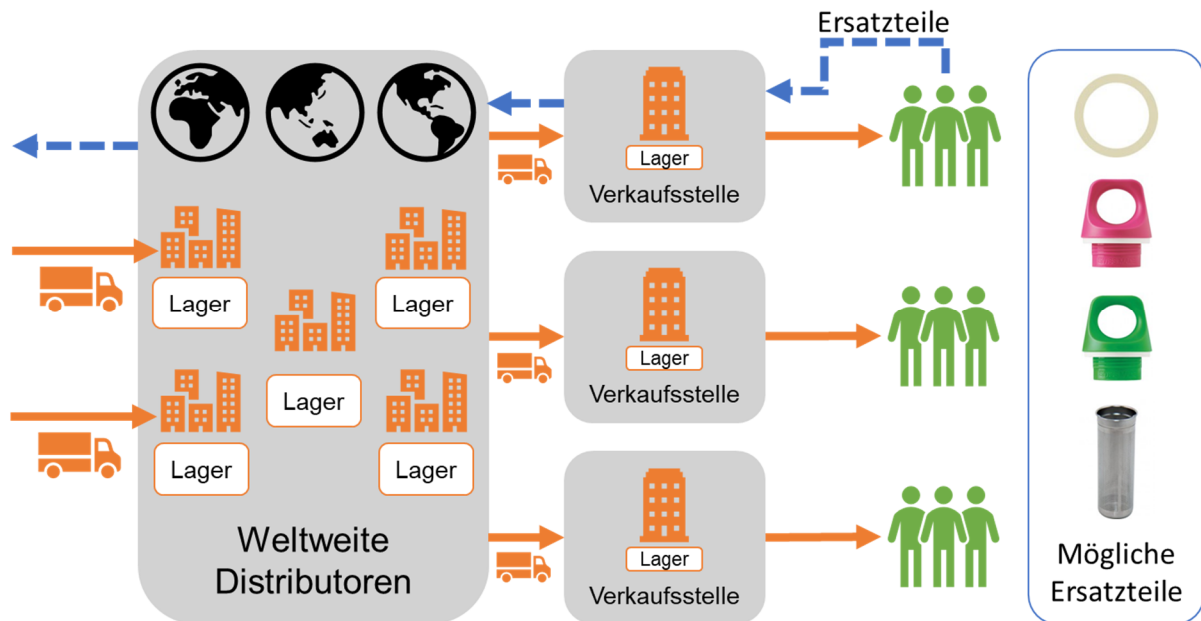


Abbildung 52: Vertrieb und Verkauf der Fertigfabrikate  
Quelle: Eigene Darstellung

Diese drei Abbildungen (Abbildung 50 bis Abbildung 52) verdeutlichen den Wertschöpfungsprozess anhand eines relativ simplen Produktes wie einer Thermoskanne. Vom Rohstoff bis zum Endkunden werden, auch in dieser Vereinfachung, verschiedenste Schritte benötigt. Die drei Abbildungen zeigen ebenfalls auf, wie die Lieferkette aufgebaut ist.

Anhand des Beispiels einer Thermoskanne werden nun die Auswirkungen des 3D-Drucks auf die Wertschöpfungskette anhand der zuvor erarbeiteten Projektions-Bündel (Szenarien) dargestellt. Wo der 3D-Druck in der Wertschöpfungskette zur Anwendung kommen kann und wie sich dabei der ganze Produktionsprozess verändert, wird wiederum grafisch dargestellt.

Die in diesem Beispiel angegebenen Länder oder Kontinente symbolisieren die heute global agierende Wirtschaft. Die Wahl der Länder ist fiktiv, zeigt aber auf, wie komplex heutige Wertschöpfungs- und Lieferketten aufgebaut sein können.

## 8.2 Auswirkungen des ersten Szenarios auf die Wertschöpfungskette

Das erste Szenario, beschrieben im Kapitel 7.3.1, legt den Fokus auf die fortschreitende technologische Entwicklung des 3D-Drucks. Der 3D-Druck verbessert sich dadurch in seiner Anwendung und in der Automatisierung. Ebenso sinken die Herstellungspreise pro gedrucktes Bauteil und die Qualität der gedruckten Bauteile nimmt generell zu. Das Ziel des Szenarios ist die gezielte Integration des 3D-Drucks in die Produktion.

Für die Darstellung der Auswirkungen auf die Wertschöpfungskette der Thermoskanne wird in diesem Szenario davon ausgegangen, dass aufgrund der technologischen Entwicklung der



3D-Druck kostenseitig mit den bisherigen Herstellungs-Methoden mithalten kann. Ebenso ist eine Automatisierung des 3D-Drucks möglich. Um die Abhängigkeiten zu den Lieferanten zu reduzieren ist daher eine Verlagerung der Produktion sinnvoll.

Die Technologie des 3D-Drucks ermöglicht es, die zuvor ausgelagerte Herstellung der Kunststoff-Teile (Verschlusskappe und Trinkkuppe) in die eigene Unternehmung zu integrieren. Dazu wird das entsprechende 3D-Druck-Material, das Kunststoff-Filament, direkt vom Hersteller geliefert. Die Herstellung der Silikon-Dichtungsringe und der Unterlagen wird im Ausland belassen, da diese immer identisch sind. Die Produktion der Aluminium-Bauteile wird nicht verändert, da diese Produktion hier nur wenige Möglichkeiten der Optimierung bietet.

Die Abbildung 53 zeigt die angepasste Wertschöpfungskette bei der Fertigung der Halbfabrikate. Anstelle des Kunststoffes Polypropylen wird direkt das benötigte Polypropylen-Filament für den 3D-Druck hergestellt und geliefert. Die Zwischenlagerung der verschiedenen Halbfabrikate entfällt teilweise, die Lageraufwände nehmen ab.

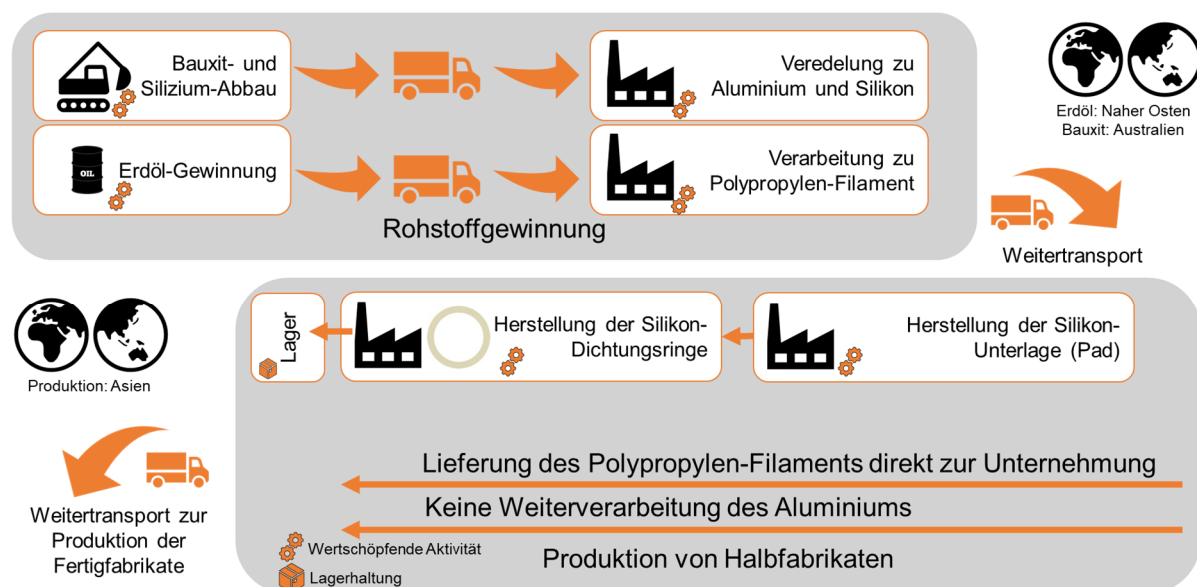


Abbildung 53: Angepasste Halbfabrikate-Produktion aus dem Szenario 1  
Quelle: Eigene Darstellung

Die Wertschöpfungskette innerhalb des lokalen Unternehmens wird dahingehend angepasst, dass die Herstellung der Trinkkappe und der Trinkkuppe selber mittels dem 3D-Druck erfolgt. Dieser erfolgt automatisiert, jedoch auf jeweils eigenen Prozesspfaden pro Bauteil. Dabei werden nicht einzelne Bauteile im Drucker erstellt, sondern ganze Serien (mehrere identische Bauteile pro Druck). Diese Produktionsweise erlaubt es, auf die Nachfrage der Kunden bezüglich der Farbe der Deckel schneller reagieren zu können. Ebenso kann das Lager dieser Teile reduziert werden, da dynamischer auf Nachfrageschwankungen reagiert werden kann. Allfällige Unterbrechungen der Produktion aufgrund fehlender Teile können einfacher vermieden werden.

Die untenstehende Abbildung 54 zeigt die angepasste Wertschöpfungskette des Unternehmens mit der Verwendung des 3D-Drucks. Der Produktionsablauf wird dabei komplexer. Als Nebeneffekt dieser Anpassung werden Arbeitsplätze ins Produktionsland verlagert. Die Produktion findet dadurch generell näher beim Kunden statt.

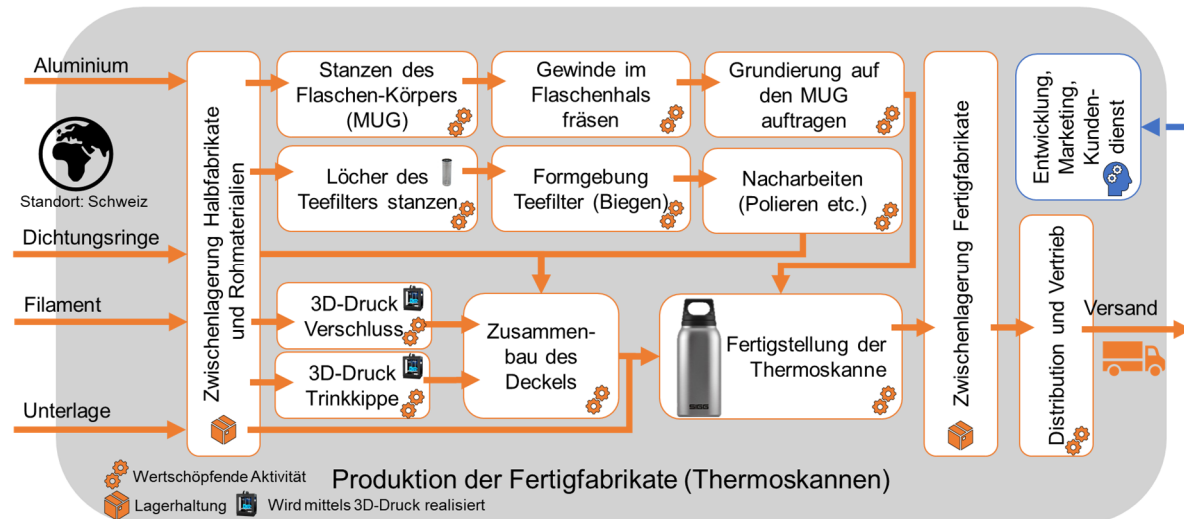


Abbildung 54: Angepasste Produktion aus dem Szenario 1  
Quelle: Eigene Darstellung

Im Bereich der Distribution ergeben sich für die Wertschöpfungskette in diesem Projektions-Bündel keine wesentlichen Veränderungen. Einzig auf die Nachfrage nach Ersatzteilen kann der Hersteller selbst reagieren, da er über die Hoheit der Produktion der meisten Bauteile verfügt.

Generell entspricht dieses Szenario einer teilweisen, gezielten Integration des 3D-Drucks in die bestehende Wertschöpfungskette. Es wird nicht die vollständige Produktion auf additive Fertigungsmethoden umgestellt.

Dieses skizzierte Szenario "Fortschritte in der 3D-Druck-Technologie-Entwicklung" zeigt folgende Punkte auf, wie der 3D-Druck bestehende Wertschöpfungsketten beeinflussen kann:

1. Dank des Einsatzes von 3D-Druck-Technologien kann innerhalb des Wertschöpfungs-systems die **Anzahl der Lieferanten** reduziert werden. Teile des Wertschöpfungs-Prozesses können damit verkürzt und vereinfacht werden.
2. Bisher an Dritte (Lieferanten) ausgelagerte oder von denen bezogene Produktionsleistungen können zurück **in die eigenen Produktionsprozesse integriert** werden. Dadurch findet auch eine Verlagerung von Arbeitsplätzen statt.
3. Die für die Produktion notwendigen **unterschiedlichen Bauteile reduzieren sich** geringfügig, da mittels 3D-Druck direkt Fertigfabrikate hergestellt werden können. Es werden weniger verschiedene Bauteile benötigt.



Dagegen gibt es die folgenden Punkte, welche bei einer Integration des 3D-Drucks in die unternehmensinternen Produktionsprozesse beachtet werden müssen:

1. Der 3D-Druck reduziert die benötigten Arbeitsschritte nicht, die Anzahl bleibt in etwa identisch.
2. Am Vertrieb und der Distribution gibt es für dieses Szenario keine Veränderungen.

Bei einer Umgestaltung des Produkts auf Grund der Fähigkeiten des 3D-Drucks würde die Menge der benötigten Materialien abnehmen. Vorstellbar ist, dass beispielsweise die Trinkkappe anstelle des massiven Kunststoffes über eine innenliegende, leichtere Stützstruktur verfügen würde.

Das für das Szenario 1 definierte Ziel, einer gezielten Integrierung des 3D-Drucks in die bestehende Wertschöpfungskette, kann mit den aufgezeigten Massnahmen erreicht werden.

### **8.3 Auswirkungen des zweiten Szenarios auf die Wertschöpfungskette**

Das erste Szenario, beschrieben im Kapitel 7.3.2, legt den Fokus auf das zunehmende Bedürfnis nach individuellen Produkten. Zusätzlich zeichnet sich dieses Szenario dadurch aus, dass ein technologischer Fortschritt im Bereich der Oberflächengüte und der Bedienungs-freundlichkeit der 3D-Drucker erfolgt. Ebenso steigt die Kapazität der Vor-Ort-Druckmöglichkeiten, was bedeutet, dass zunehmend auch 3D-Drucker in privaten Haushalten oder in 3D-Drucker-Shops vorzufinden sind, da die Anschaffungs- und Investitionskosten generell gesunken sind.

Auch in diesem Szenario wird davon ausgegangen, dass aufgrund der technologischen Entwicklung der 3D-Druck kostenseitig mit den bisherigen Herstellungs-Methoden mithalten kann. Bewegen sich die Produktionskosten nicht auf einem vergleichbaren Niveau, ist ein Wechsel zur Produktion mittels 3D-Druck schwierig zu begründen.

Generell wird in diesem Szenario die Digitalisierung verstärkt. Die Kunden erhalten die Möglichkeit, die Verschlusskappe und die Trinkkappe selber herzustellen oder direkt am Verkaufsort in den gewünschten Farben und Formen mittels 3D-Druck produzieren zu lassen. Das Unternehmen bietet neben den Standard-Farben und Formen des Deckels auch weitere Gestaltungs-Optionen an. Diese werden im Unternehmen selber in einer eigenen Abteilung entworfen, mittels Prototyping im 3D-Druck-Verfahren hergestellt, getestet und dem Marketing übergeben. Dieses betreibt zusätzlich eine neue Online-Präsenz, wo die digitalen Modelle angeboten werden.

Die Herstellung der Halbfabrikate wird, wie im ersten Szenario, dahingehend angepasst, dass die Verschlusskappe und die Trinkkippe nicht mehr extern hergestellt werden. Die Dichtungsringe und die Unterlage werden auch hier weiterhin extern fabriziert, da diese beiden Bauteile als Massenware betrachtet werden. Die Abbildung 55 zeigt die angepasste Wertschöpfungskette.

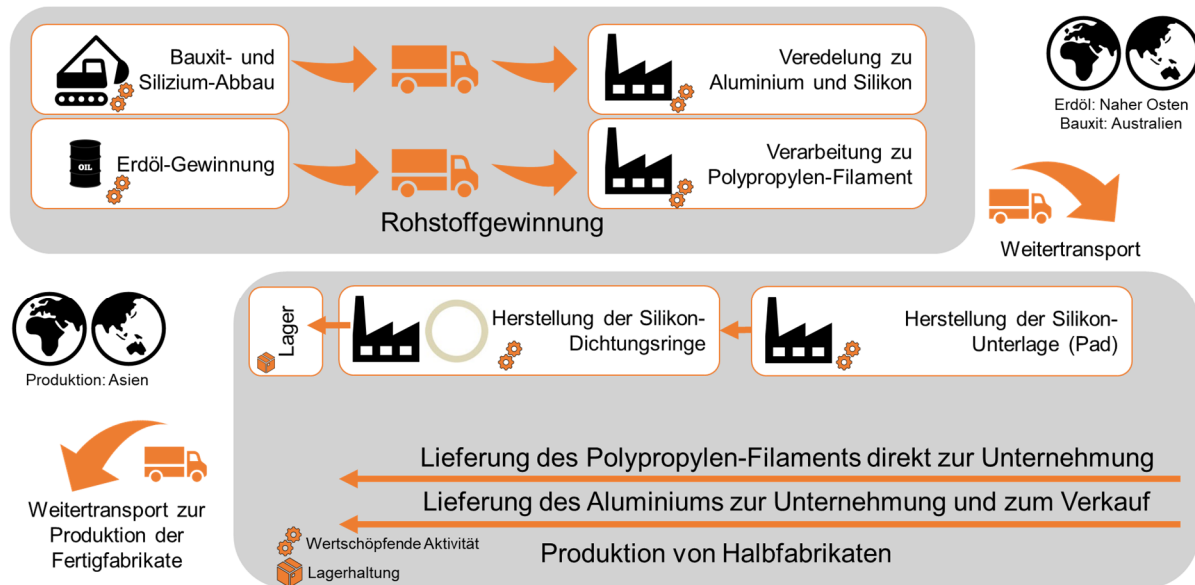


Abbildung 55: Angepasste Halbfabrikate-Produktion aus dem Szenario 2  
Quelle: Eigene Darstellung

Das Produktions-Schema in der Abbildung 56 zeigt, dass die Produktion der Verschlusskappe und der Trinkkippe komplett ausgelagert wurde und nun lokal erfolgt. Dafür ist eine Entwicklungs-Abteilung entstanden, welche digitale Modelle für Kappen und Trinkkippen erstellt, diese mittels 3D-Druck überprüft und testet. Das Marketing ist in diesem Szenario neu auch für das erweiterte digitale Business zuständig. Der Internetauftritt des Unternehmens bietet nun auch die digitalen Modelle zum Download an. Ausserdem stellt das Marketing die Modelle mit Anleitungen ihren Vertriebspartnern und Kunden zur Verfügung.

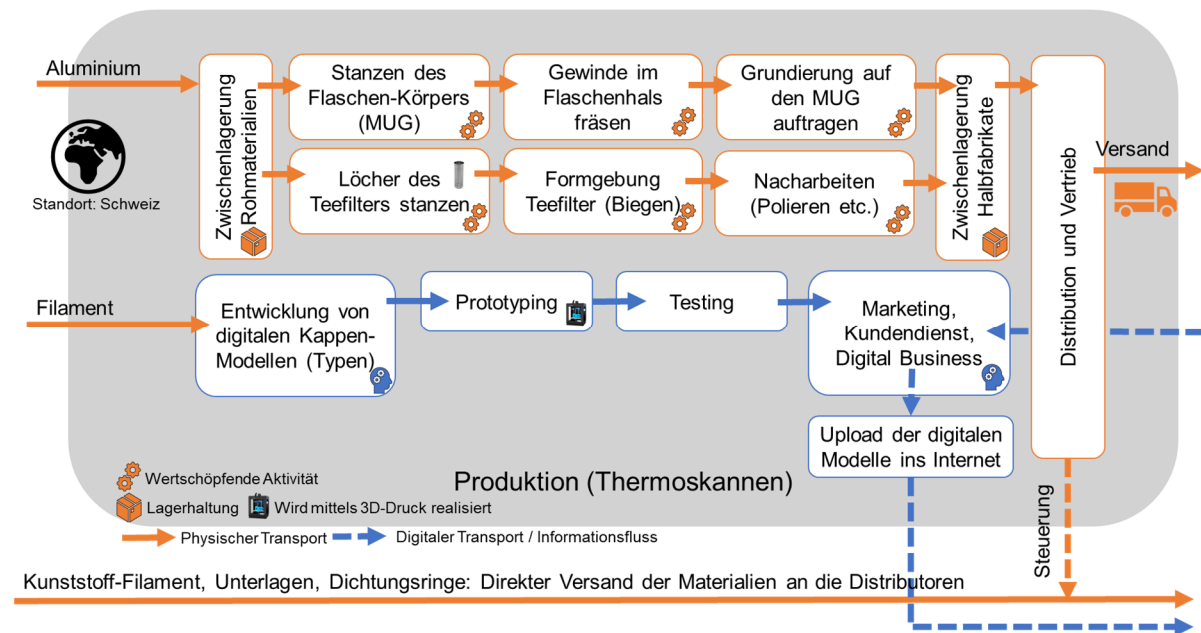


Abbildung 56: Angepasste Produktion aus dem Szenario 2 mit erhöhter Digitalisierung  
Quelle: Eigene Darstellung

Mit der Digitalisierung findet eine Verschiebung innerhalb der Wertschöpfung statt. Einerseits werden Prozessschritte der Produktion verschoben. Andererseits werden dem Kunden mehr Möglichkeiten in der Gestaltung des Produkts ermöglicht. Wenn damit dem Wunsch der möglichst hohen Individualisierung des Produkts entsprochen wird, ist in der Theorie auch eine Verlagerung der Produktion zum Kunden denkbar, indem dieser nur noch das digitale Modell erwirbt und es anschliessend selber ausdruckt. Die Voraussetzungen dafür sind günstige und qualitativ gute 3D-Drucker für Privatkunden.

Die Abbildung 57 zeigt das Vertriebs-Schema, in welchem die individualisierbaren Teile direkt an der Verkaufsstelle hergestellt werden können. Der Kunde kann sich seine Flasche aussuchen und anschliessend seine individuelle Verschlusskappe aus einer Vielzahl von Möglichkeiten auswählen, um diese dann direkt mittels 3D-Druck herstellen zu lassen. Die Thermoskanne wird bei diesem Szenario erst beim Zeitpunkt des Verkaufs fertiggestellt.

Für den 3D-Druck brauchen die Verkaufsstellen nur ein kleines, aber immer identisches Gerät, da die Teile nicht sonderlich voluminös sind. Das dazu benötigte Filament und die 3D-Modelle werden direkt geliefert, entweder durch den Filament-Hersteller oder von der Marketing-Abteilung (Digital Business) des Flaschen-Herstellers.

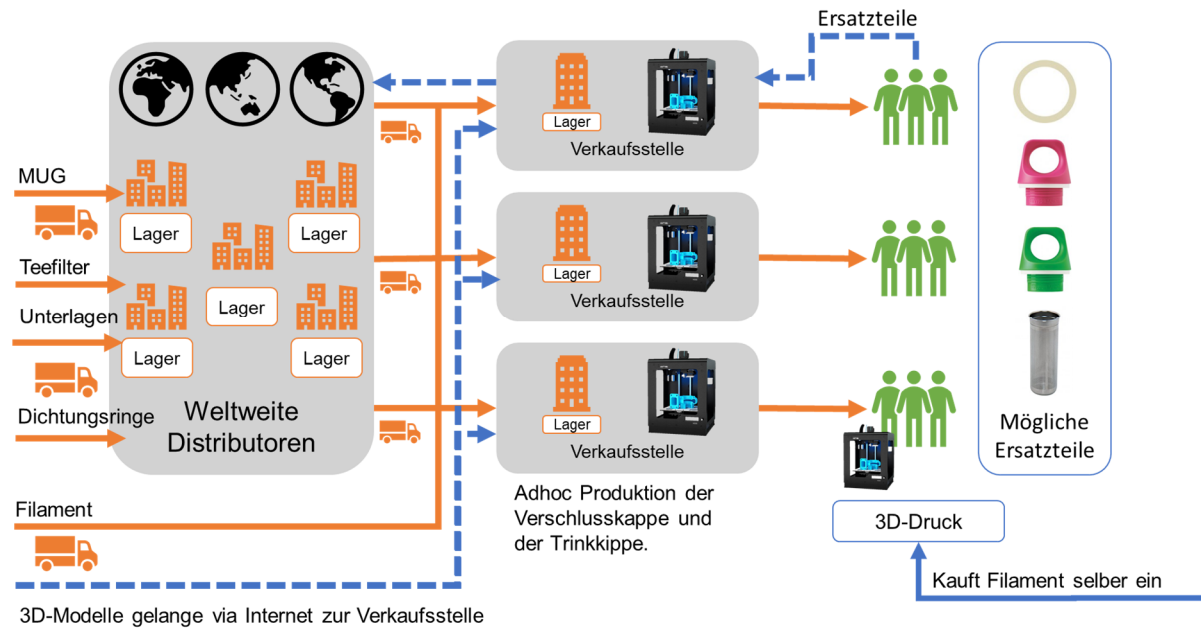


Abbildung 57: Angepasster Vertrieb anhand des Szenario 2  
Quelle: Eigene Darstellung

Dieses Szenario entspricht einer fast vollständigen Integration des 3D-Drucks in die Wertschöpfungskette. Nach wie vor sind nicht alle Produktionsschritte auf die additive Fertigung umgestellt. Ausserdem werden Teile einzeln an die Distributoren verteilt.

Dieses skizzierte Szenario "Steigende Nachfrage nach Individualisierungen mit technologischem Fortschritt" zeigt folgende Punkte auf, wie der 3D-Druck bestehende Wertschöpfungsketten beeinflussen kann:

1. Die **Produktion** innerhalb der Wertschöpfungskette **verlagert sich** in die Nähe der Endabnehmer. Die Endabnehmer üben dabei zunehmend **Einfluss auf die Produktgestaltung** aus. Allfällige Vormontagetätigkeiten können entfallen
2. Bauteile oder die fertigen Produkte können direkt **auf Wunsch des Kunden** erstellt werden. Der Kunde hat dabei die Wahl, sein individuelles Produkt herstellen zu lassen.
3. Die Bauteile **werden dann produziert, wenn sie benötigt und verkauft werden**. Das Lager besteht zudem mehrheitlich aus Rohmaterialien (in diesem Szenario Aluminium und Kunststoff-Filament), die Lagerung von Halbfabrikaten reduziert sich.
4. Die **Digitalisierung** hält verstärkt Einzug. Dazu müssen neue Kompetenzen aufgebaut werden, welche es ermöglichen, diese Optionen zu nutzen. Die Digitalisierung wird ein wichtiger Faktor und trägt indirekt zum Erfolg bei. Dabei muss aber auch verstärkt darauf geachtet werden, dass das **Recht am digitalen Produkt** geschützt ist (Copyright) und nicht von der Konkurrenz verwendet werden kann.

5. Die **Entwicklung neuer Bauteile** wird dank dem Einsatz des 3D-Drucks vereinfacht. Prototypen können digital erstellt und schnell im modellgetreuen Massstab gedruckt und anschliessend validiert werden.
6. Das **Ersatzteilmanagement** wird vereinfacht. Anstatt eine Vielzahl von Ersatzteilen bereithalten zu müssen, werden die benötigten **Ersatzteile direkt vor Ort gedruckt**. Dies hat wiederum einen positiven Einfluss auf die Lagerhaltung, welche reduziert werden kann und damit gebundenes Kapital wieder frei gibt.

Das Ziel, den 3D-Druck in die Wertschöpfungskette zu integrieren, damit den individuellen Kundenwünschen möglichst gut entsprochen werden kann, wurde mit diesem Beispiel erreicht. Im Bereich der Aluminium-Verarbeitung sind noch weitere Optimierungen möglich.

### Ergänzung bezüglich der Entwicklung neuer Bauteile (Forschung und Entwicklung)

Die Abbildung 58 zeigt einen beispielhaften, herkömmlichen Prozess für die Entwicklung neuer Bauteile ohne die Integration des 3D-Drucks. Dabei wird das Design des Bauteils intern entwickelt und anschliessend digital an einen externen Partner verschickt. Dieser produziert den Prototypen mit herkömmlichen Guss- oder Fräsverfahren und schickt diesen zurück an den Entwickler. Dieser überprüft das Bauteil und gibt es, im optimalen Fall, frei für die Produktion. Dieser Prozess dauert mindestens zwei Tage, da der Versand auf jeden Fall eine Nacht benötigt.

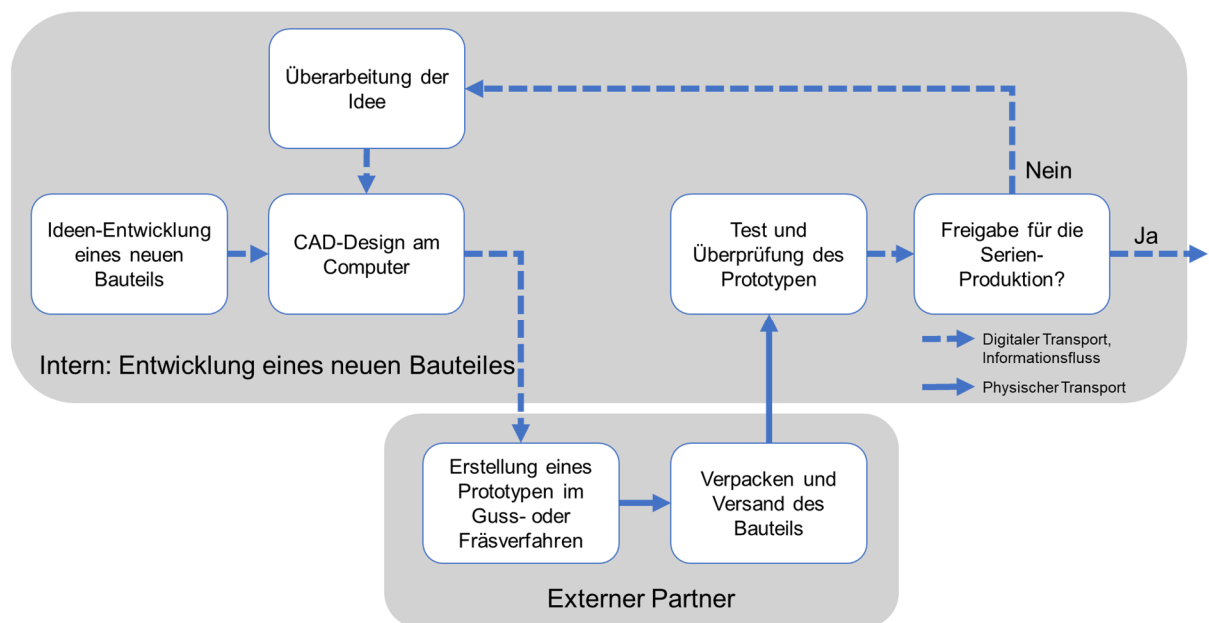


Abbildung 58: Heutiger Entwicklungs-Prozess eines neuen Bauteils  
Quelle: Eigene Darstellung

Die nachfolgende Abbildung 59 zeigt den Entwicklungs-Prozess mit integriertem 3D-Druck. Dieser Prozess kann wesentlich schneller durchgeführt werden, da der Versand entfällt. Ebenso können selber auch gleich Varianten des neuen Designs ausprobiert werden. Zudem

ist der ganze Prozess mittels 3D-Druck im Vergleich zum herkömmlichen Verfahren auch kostengünstiger, da interne Leistungen üblicherweise günstiger verrechnet werden als externe.

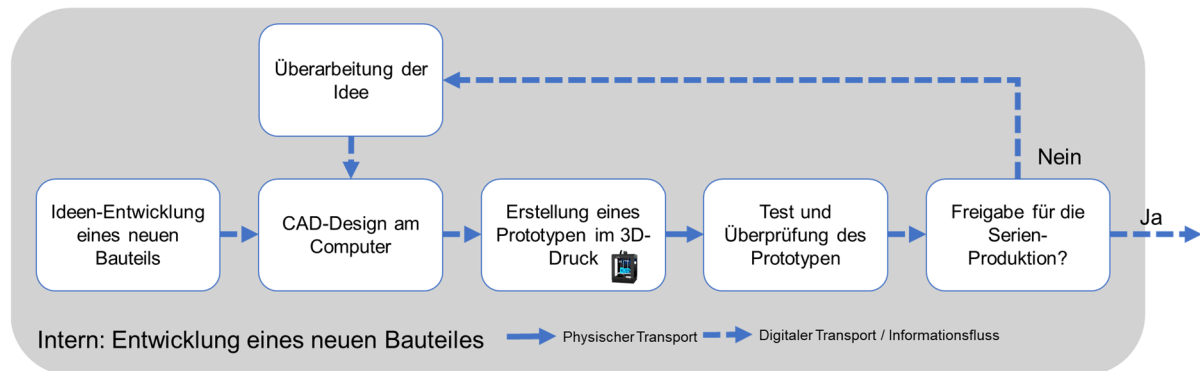


Abbildung 59: Entwicklungs-Prozess eines neuen Bauteils mittels integriertem 3D-Druck  
Quelle: Eigene Darstellung

### Ergänzung bezüglich des Ersatzteilmanagements

Mit den dezentralen 3D-Druck-Kapazitäten wird es möglich, Ersatzteile direkt bei Bedarf zu erstellen. Anstatt die Ersatzteile vorrätig zu haben, werden diese anhand des vorliegenden digitalen Modells direkt gedruckt. Die Lagerung, welche teilweise grosse finanzielle Mittel bindet, entfällt.

## 8.4 Auswirkungen des dritten Szenarios auf die Wertschöpfungskette

Das dritte Szenario, beschrieben im Kapitel 7.3.3, geht von steigenden Kosten für die Transport-Leistungen aus. Dies bedeutet, die Kosten für den Transport verteuern das Produkt stark, so dass Transporte möglichst vermieden werden müssen. Das Szenario soll aufzeigen, wie teure Transportleistungen mittels der Integration des 3D-Drucks möglichst vermieden werden können. Dem Kunden ist es jedoch weiterhin möglich, das Produkt, die Thermoskanne, individuell zu gestalten.

Die untenstehende Abbildung 60 zeigt, dass die Produktion der Bauteile fast vollständig ausgelagert wurde. Die fertigen Bauteile werden zentral gelagert und dort soweit als möglich zusammengebaut. Diese Halbfabrikate werden dann direkt an die Distributoren, allenfalls auch direkt an die Verkaufsstellen verschickt. Damit wurden die Transportwege soweit als möglich optimiert.

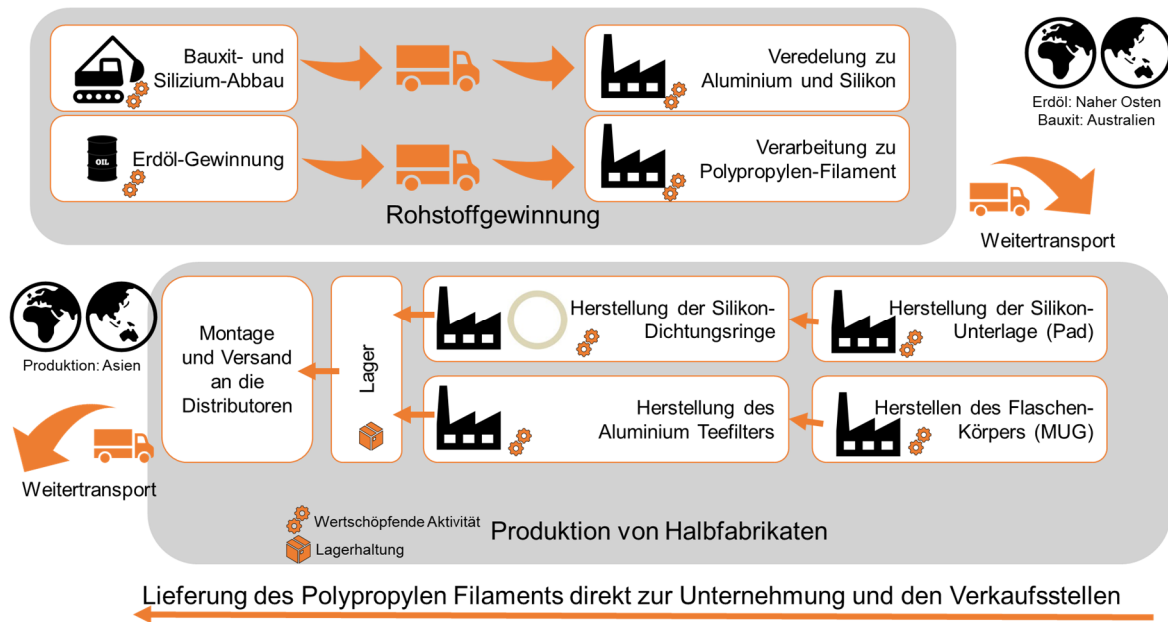


Abbildung 60: Angepasste Halbfabrikate-Produktion aus dem Szenario 3  
Quelle: Eigene Darstellung

Da die eigentliche Produktion der Thermoskanne zwecks Optimierung der Transportkosten an die Zulieferfirmen ausgelagert wurde, findet im Unternehmen selber keine effektive Produktion mehr statt. Es sind nur noch unterstützende Tätigkeiten vorhanden, wie beispielsweise die Entwicklung, der Kundendienst oder das Marketing. Andere Bereiche, wie zum Beispiel das Personalwesen, wurden in den vorhergehenden Abbildungen bewusst weggelassen. Eine weitere mögliche Änderung ist die Steuerung der Logistik. Diese war bisher zentral angesiedelt, in diesem Beispiel wird sie durch die Distributoren vorgenommen, da alle Bauteile direkt zu ihnen gelangen.

Die Abbildung 61 zeigt das angepasste, auf unterstützende Tätigkeiten reduzierte Unternehmen.

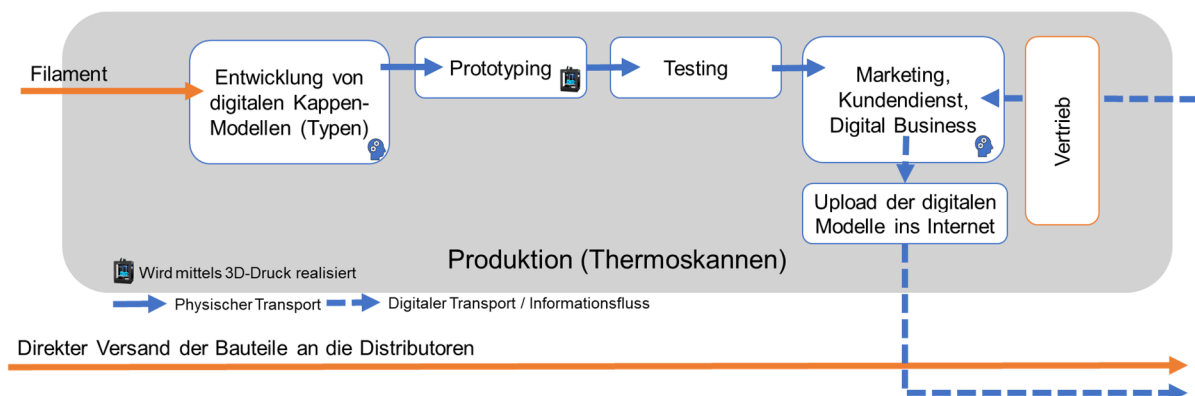


Abbildung 61: Angepasstes Schema des Unternehmens aus dem Szenario 3  
Quelle: Eigene Darstellung

In Abbildung 62 ist ersichtlich, dass sich der Vertrieb gegenüber dem Beispiel aus dem Szenario 2 nicht gross geändert hat. Einzig die Bauteile treffen nun gebündelt bei den Distributoren ein. Von einem direkten Versand an die Verkaufsstellen wurde abgesehen.

Die Verkaufsstellen drucken auf Wunsch des Kunden den Verschluss direkt aus. Alternativ kann der Kunde wiederum seine individualisierte Verschlusskappe selber erstellen.

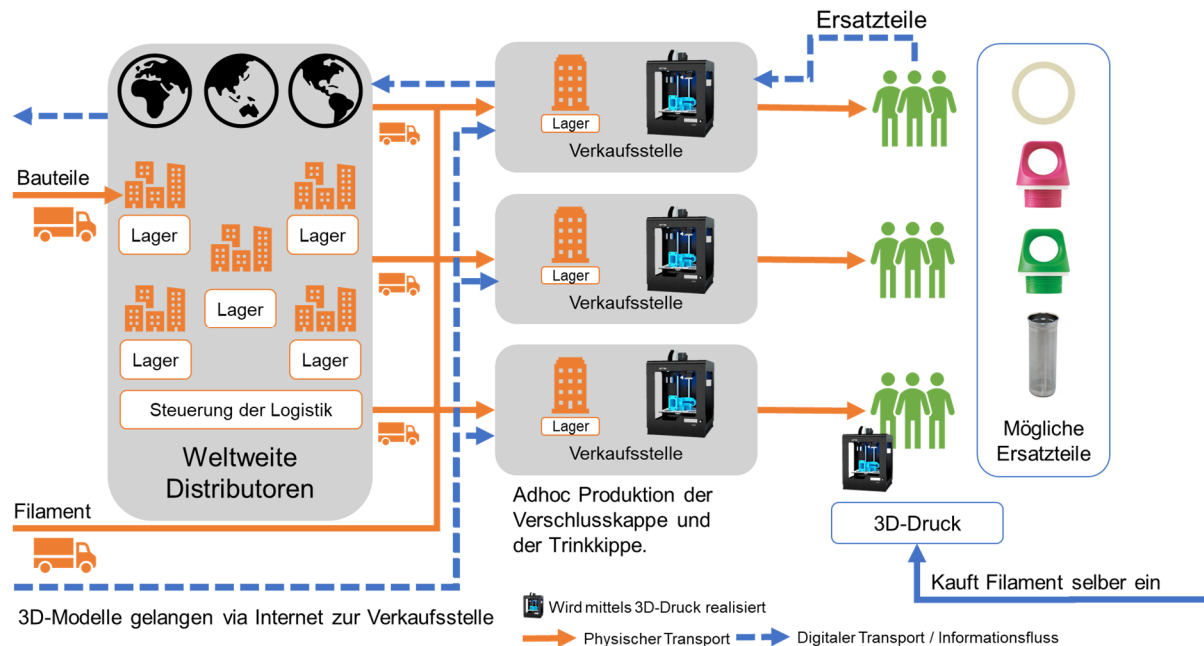


Abbildung 62: Angepasster Vertrieb anhand des Szenario 3  
Quelle: Eigene Darstellung

In diesem Szenario hat der 3D-Druck nur wenig Einfluss auf die Optimierung der Logistik, da die Bauteile nicht vollständig mittels dem 3D-Druck hergestellt werden. Wäre es beispielsweise möglich, die ganze Thermoskanne mittels dem 3D-Druck zu fertigen, müsste nur das Filament zu den Verkaufsstellen geliefert werden. In diesem Fall würde die Logistik stark verändert, da dann bisher benötigte Transportkapazitäten wegfallen würden. Dieses Beispiel wird in der nächsten Abbildung 63 aufgezeigt. Dieses Szenario wird jedoch als wenig realistisch angesehen. Eine Alternative dafür bietet das vierte Szenario, welches im folgenden Kapitel 8.5 beschrieben wird.





Abbildung 63: Radikale Anpassung der Logistik in Szenario 3  
Quelle: Eigene Darstellung

Dieses skizzierte Szenario "Anstieg der Logistik-Kosten" zeigt folgende Punkte auf, wie der 3D-Druck bestehende Wertschöpfungsketten beeinflussen kann:

1. Der 3D-Druck eröffnet die Möglichkeit, die Logistik dahingehend zu verändern, dass **nicht mehr Bauteile oder Fertigprodukte transportiert werden**, sondern vermehrt nur das 3D-Druck-Material, in diesem Szenario das sogenannte Filament.
2. Um jedoch zu erreichen, dass nur noch Filament für den 3D-Druck transportiert wird, muss es **die Technologie ermöglichen, mit verschiedensten Materialien eine gute Qualität zu produzieren**.

Bei diesem Szenario ist zu beachten, dass die Herstellung des zentralen Produkts, die Flasche, ins Ausland verschoben wird. Somit müssen allfällige Herkunftsbezeichnungen wie "Made in Switzerland" überprüft werden.

## 8.5 Auswirkungen des vierten Szenarios auf die Wertschöpfungskette

Das vierte Szenario, beschrieben im Kapitel 7.3.4, geht davon aus, dass die Produktion zunehmend dezentral erfolgen kann. Generell nimmt die Qualität des 3D-Drucks zu und kann auch genutzt werden. Das Bedürfnis nach Individualisierung steigt, ebenso haben die dezentralen 3D-Druck-Kapazitäten zugenommen. Dieses Szenario setzt radikal auf den Einsatz des 3D-Drucks und geht davon aus, dass dieser die anderen Fertigungs-Methoden ablöst.

Wie in der nächsten Abbildung 64 dargestellt, fallen bis auf die Rohmaterialien-Gewinnung und Verarbeitung zu Filament im ersten Abschnitt der Wertschöpfungskette keine weiteren

Aktivitäten mehr an. Das Filament wird direkt zum Unternehmen, zu den Partnern, den externen 3D-Druckereien und den Verkaufsstellen geschickt.

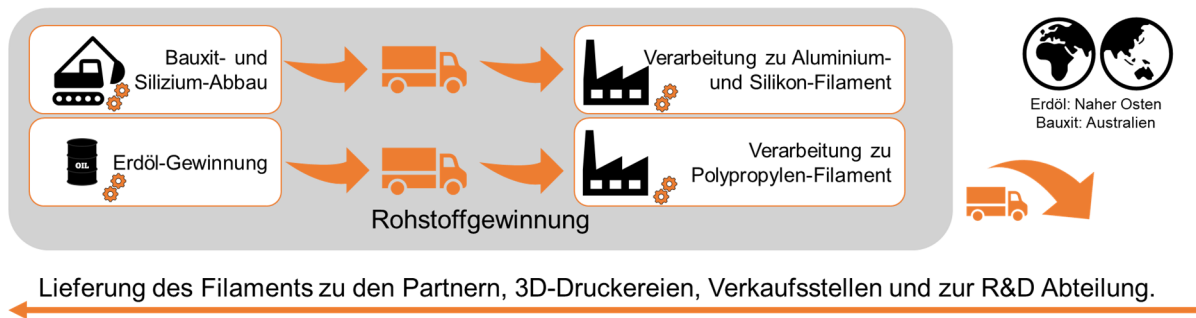


Abbildung 64: Angepasste Produktion des Filaments des Szenario 4  
Quelle: Eigene Darstellung

Im Unternehmen selber werden vor allem unterstützende Aktivitäten innerhalb der Wertschöpfungskette ausgeführt. Die effektive Produktion der Bauteile für die Thermoskanne findet nicht mehr im Unternehmen statt. Dies veranschaulicht die Abbildung 65 eindeutig.

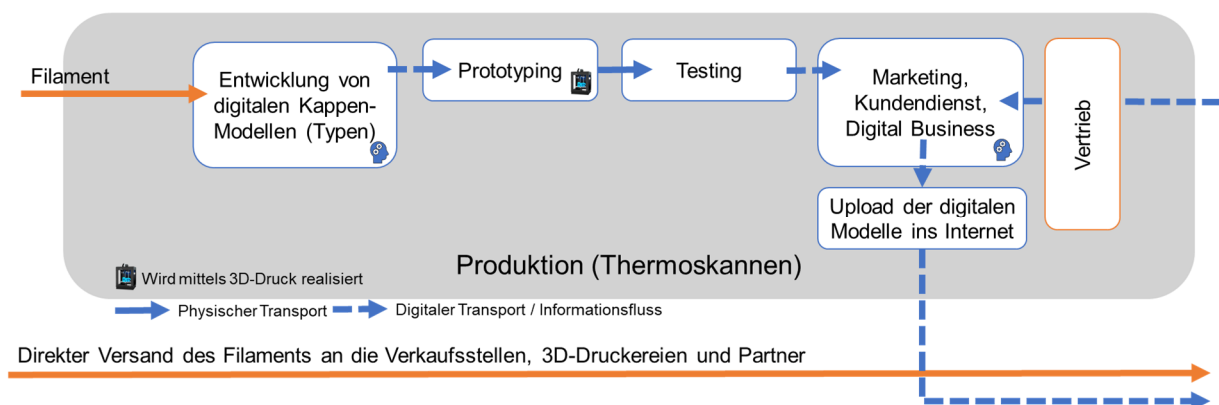


Abbildung 65: Angepasstes Schema des Unternehmens aus dem Szenario 4  
Quelle: Eigene Darstellung

Das Unternehmen setzt bei der Produktion der Thermoskanne konsequent auf den 3D-Druck und will dabei die Transportwege möglichst kurz halten. Die Produktion findet daher möglichst nahe beim Kunden statt, wie in der Abbildung 66 zu sehen ist. Ein Teil der Bauteile wird durch externe Partner hergestellt, die anderen Bauteile, bei welchen der Kunde seine Farben und Formen selber wählen kann, werden wiederum direkt in den Verkaufsstellen produziert. Dabei wird einerseits das Filament für den 3D-Druck benötigt, andererseits müssen die digitalen Baupläne verteilt werden.

Für den Kunden besteht ausserdem die Option, sich individuelle Anpassungen selber zu drucken. Dazu kann er die digitalen Baupläne für den 3D-Druck im Internet erwerben oder kostenlos herunterladen.

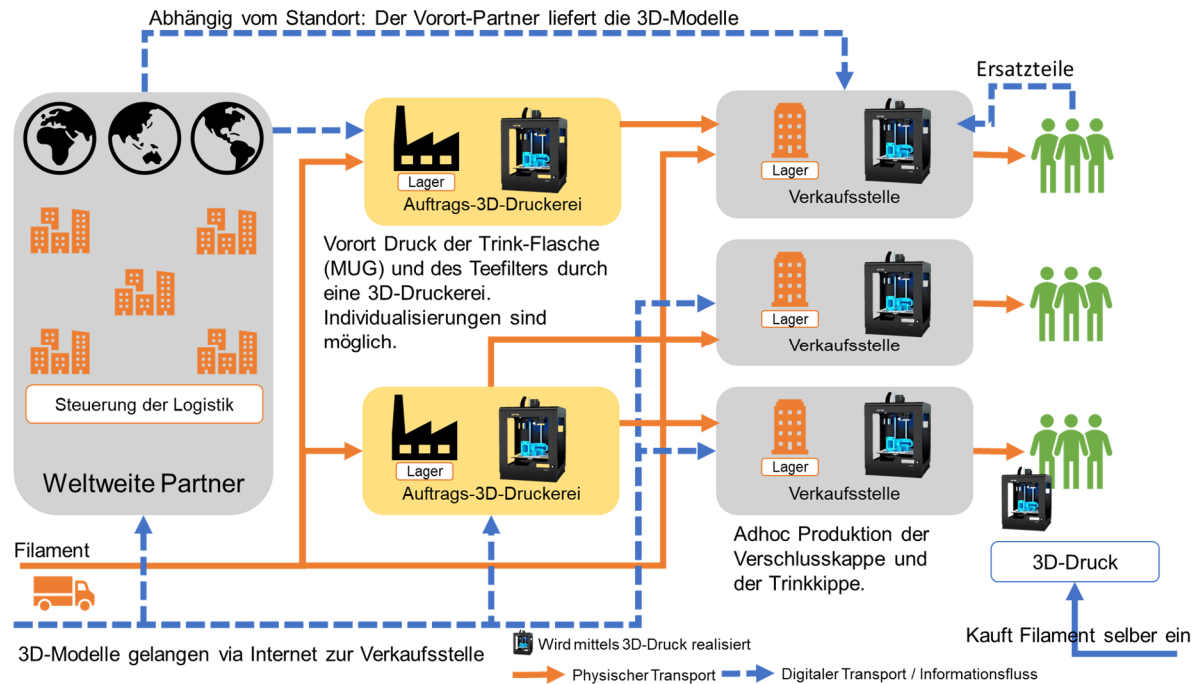


Abbildung 66: Angepasster Vertrieb anhand des Szenario 4  
Quelle: Eigene Darstellung

Ersatzteile liegen nur noch marginal vor. Diese werden direkt bei Bedarf produziert. Dadurch kann das benötigte Lagervolumen reduziert werden, es wird vorwiegend Filament für den 3D-Druck eingelagert.

Die Steuerung der Logistik erfolgt hier dezentral bei den weltweiten Vertriebspartnern. Diese sind verantwortlich, dass immer genügend 3D-Druck-Materialien vorrätig sind und dass die richtigen Baupläne am richtigen Ort zur Anwendung kommen. Dies kommt beispielsweise innerhalb einer Region vor, damit auf die unterschiedlichen Anforderungen der Region reagiert werden kann.

Dieses Szenario kann dann umgesetzt werden, wenn der 3D-Druck in der Lage ist, grosse Stückzahlen effizient und kostengünstig zu produzieren.

## 8.6 Implikationen der Einflussbereiche auf die Wertschöpfungs- und Lieferketten

Anhand der entwickelten und interpretierten Szenarien, in Kombination mit den Kenntnissen über die technologischen Vorzüge des 3D-Drucks, können innerhalb der Wertschöpfungs- und Lieferkette die folgenden Bereiche identifiziert werden, in welchen der 3D-Druck Einfluss nehmen kann.

Die Abbildung 67 zeigt identifizierte Einflussbereiche auf die Wertschöpfungs- und Lieferkette. Dabei wird zwischen den drei Einflussbereichen Lieferanten, Unternehmen sowie Partner und Kunden unterschieden.

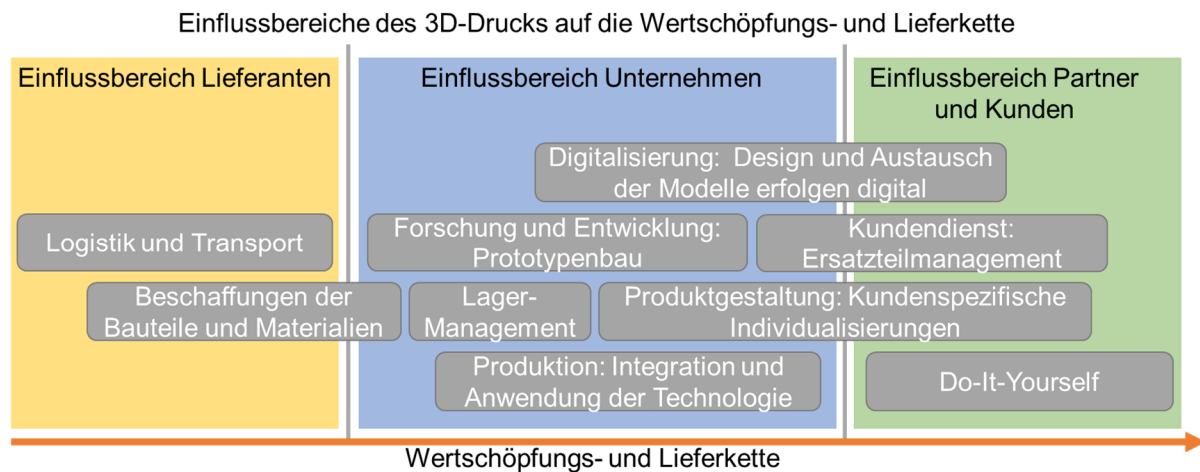


Abbildung 67: Einflussbereiche des 3D-Drucks auf die Wertschöpfungs- und Lieferkette  
Quelle: Eigene Darstellung

Die wichtigsten Einflussbereiche sind die Produktion, das Ersatzteilmanagement sowie die Forschung und Entwicklung. In diesen Bereichen, welche gleichzeitig einen wichtigen Beitrag zur Wertschöpfung liefern, kommt der 3D-Druck effektiv zum Einsatz. Wird entschieden, den 3D-Druck, in welchem Umfang auch immer, einzusetzen, dann wird in diesen Bereichen die 3D-Druck-Hardware aufgestellt und Know-How aufgebaut. Daraus resultieren anschliessend die Konsequenzen für die anderen Einflussbereiche.

Die identifizierten Einflussbereiche und deren Implikationen werden wie nachfolgend dargestellt umschrieben. Dabei werden jeweils Thesen aufgestellt, wie der 3D-Druck die Wertschöpfungs- und Lieferketten beeinflussen kann.

### 8.6.1 Logistik und Transport

**Die benötigten Logistik- und Transportleistungen können durch den Einsatz des 3D-Drucks reduziert werden. Anstatt unterschiedliche Bauteile zu transportieren, wird für den 3D-Druck nur das Filament benötigt. Dies reduziert die Transportwege und die Anzahl der Lieferanten.**

Wird der 3D-Druck konsequent eingesetzt, müssen weniger Bauteile transportiert werden. Stattdessen werden Materialien für den 3D-Druck von den Produzenten zu den Unternehmen verschickt. Dadurch werden weniger und andere Logistikleistungen benötigt. Im besten Fall verkürzen sich dadurch die Transportwege, da das Filament näher beim Verbraucher hergestellt werden kann.

Daraus abgeleitet, kann die folgende These zu den Implikationen des 3D-Drucks auf die Wertschöpfungs- und Lieferkette aufgestellt werden:

***These 1: Der Waren- und Güterstrom wird sich durch den 3D-Druck verändern. Die Materialien für den 3D-Druck ersetzen teilweise die heute weltweit transportierten Güter.***

## **8.6.2 Beschaffungs-Management**

**Das Beschaffungs-Management kann durch den Einsatz des 3D-Drucks optimiert werden, da statt vieler unterschiedlicher Bauteile nur noch spezifische 3D-Druck-Materialien benötigt werden.**

Das Lieferanten-Management kann den 3D-Druck dahingehend beeinflussen, dass die Anzahl der Lieferanten optimiert oder auch reduziert werden kann. Abhängig davon, wie umfangreich der 3D-Druck eingesetzt wird, gibt es eine Verlagerung von Produkt- oder Bauteil-Lieferanten zu 3D-Druck-Material-Lieferanten. Diese 3D-Druck-Material-Lieferanten liefern die Druckmaterialien, welche auf die Bedürfnisse und die eingesetzte 3D-Druck-Hardware der Unternehmen abgestimmt sind.

Veränderungen und Potenziale durch die Nutzung der 3D-Druck-Technologie:

- Es werden weniger verschiedene Lieferanten benötigt, da die Anzahl der gelieferten, unterschiedlichen Bauteile mit dem Einsatz des 3D-Drucks sinkt. Stattdessen werden die benötigten 3D-Druck-Materialien durch einige wenige oder nur einen Lieferanten beschafft, welcher auf die jeweils eingesetzten 3D-Drucker passenden Materialien liefern.
- Die Steuerung der Lieferanten kann optimiert werden. Da mit dem Einsatz des 3D-Drucks die Anzahl der unterschiedlichen Lieferanten sinkt, dafür aber mehrheitlich 3D-Druck-Materialien benötigt werden, vereinfacht sich die Beschaffung generell und kann beispielsweise zentralisiert werden.

Daraus abgeleitet kann die folgende These zu den Implikationen des 3D-Drucks auf die Wertschöpfungs- und Lieferkette aufgestellt werden:

***These 2: Die Anzahl der Lieferanten pro Unternehmen wird sich mit dem Einsatz des 3D-Drucks reduzieren. Das Beschaffungswesen (Einkauf) wird sich dadurch einfacher gestalten.***

## **8.6.3 Produktion**

**Die generellen technischen Vorteile des 3D-Drucks können bestehende Produktionsprozesse und Wertschöpfungsketten verändern.**

Die technischen Vorteile des 3D-Drucks gegenüber den bisherigen Herstellungs-Methoden werden durch die Unternehmen gezielt eingesetzt. Dadurch werden interne Produktionsprozesse angepasst und der 3D-Druck in die heutigen Wertschöpfungs-systeme integriert.

Veränderungen und Potenziale durch die Nutzung der 3D-Druck-Technologie in der Wertschöpfungskette:

- Die erhöhten Gestaltungs- und Designfreiheiten, aber auch die Leichtbaumöglichkeiten des 3D-Drucks ermöglichen es, neue Formen und Strukturen von Bauteilen zu entwickeln oder bisherige Strukturen zu optimieren.
- Die Produktion neuer Bauteile wird gezielt in die Produktionsprozesse und damit in die Wertschöpfungskette integriert. Die bestehenden, herkömmlichen Produktions-Methoden werden nachhaltig ersetzt.
- Die Produktions-Abfälle können durch die additive Fertigung reduziert werden. Dies vermindert die Entsorgungskosten und die Umweltbelastung.

Daraus abgeleitet kann die folgende These aufgestellt werden:

***These 3: Die technischen Vorteile und Design-Freiheiten des 3D-Drucks werden die Entwicklung und die Produktion von ausgesuchten Bauteilen und Produkten beeinflussen: Herkömmlich produzierte Bauteile werden gezielt durch gedruckte Versionen ersetzt.***

#### **8.6.4 Lager-Management**

**Das Lager-Management (Lagerverwaltung) wird sich vereinfachen, da anstelle unterschiedlicher Bauteile oder Rohmaterialien in Zukunft vermehrt nur noch Materialien für den 3D-Druck benötigt werden.**

Die Eingangslogistik und die damit zusammenhängende Zwischenlagerung von Halbfabrikaten wird durch den Einsatz des 3D-Drucks vereinfacht werden. Durch den konsequenten Einsatz des 3D-Drucks kann die Anzahl unterschiedlicher Bauteile, welche gelagert werden müssen, reduziert werden. Dies verringert die benötigten Lagerkapazitäten.

Daraus abgeleitet kann die folgende These zu den Implikationen des 3D-Drucks auf die Wertschöpfungs- und Lieferkette aufgestellt werden:

***These 4: Mit dem konsequenten Einsatz des 3D-Drucks werden sich die benötigten Lagerkapazitäten verringern. An der Stelle von Halbfabrikaten werden Materialien für den 3D-Druck gelagert. Die Lagerverwaltung gestaltet sich dadurch einfacher.***

### 8.6.5 Produktgestaltung

**Der 3D-Druck erlaubt eine erhöhte Individualisierung der Produkte. Dieses Vorgehen fliesst in die Produktgestaltung mit ein und ermöglicht es, auf die Kundenwünsche vermehrt einzugehen.**

Die Produktgestaltung kann vermehrt auf die Anforderungen der Kunden eingehen und gezielte Individualisierungen vornehmen. Dies wiederum hat Auswirkungen auf das Marketing und den Verkauf, da die Individualisierungen als Differenzierungsmerkmal hervorgehoben werden können.

Veränderungen und Potenziale durch die Nutzung der 3D-Druck-Technologie:

- Die Produktgestaltung kann Rücksicht auf die Anforderungen der Kunden nehmen und, je nach Integration des 3D-Drucks, diese Wünsche direkt in den Herstellungsprozess einfließen lassen.
- Das Marketing kann die Individualisierungsmöglichkeiten als Differenzierungsmerkmal verwenden und damit werben. Der 3D-Druck kann damit strategisch positioniert werden.

Daraus abgeleitet kann die folgende These aufgestellt werden:

***These 5: Der 3D-Druck wird Produkt-Individualisierung ermöglichen (Mass Customization statt Massenproduktion). Produkte können vermehrt auf die individuellen Anforderungen der Auftraggeber angepasst werden.***

### 8.6.6 Forschung und Entwicklung

**Der 3D-Druck ermöglicht einen effizienten Prototypenbau. Bauteile können mittels dem 3D-Druck schneller hergestellt und überprüft werden.**

Mit dem 3D-Druck ist es möglich, Prototypen von Bauteilen direkt aus dem 3D-Drucker, teilweise auch mit integrierter Funktionalität, zu erstellen. Dies verkürzt und vereinfacht die Entwicklung neuer Bauteile und Produkte.

Veränderungen und Potenziale durch die Nutzung der 3D-Druck-Technologie:

- Vereinfachte Herstellung von Modellen und Prototypen, welche auch über bereits eingebaute Funktionalitäten verfügen können (Rapid Prototyping).
- Neben Prototypen können auch die für die Entwicklung und die Produktion benötigten Werkzeuge selber mittels dem 3D-Druck hergestellt werden (Rapid Tooling).
- Die Entwicklungszeiten können optimiert werden, da mit dem 3D-Druck die Modelle oder Prototypen schneller hergestellt werden können.

- Die Prototypen können entweder selber mittels 3D-Druck hergestellt werden oder es werden Aufträge an 3D-Druck-Spezialisten vergeben.

Daraus abgeleitet kann die folgende These aufgestellt werden:

***These 6: Im Bereich der Forschung und Entwicklung wird der 3D-Druck zum Standard bezüglich des Baus von Prototypen oder Modellen.***

### 8.6.7 Ersatzteilmanagement

**Ersatzteile müssen nicht mehr dezentral gelagert, sondern können, wenn diese benötigt werden, direkt mittels 3D-Druck hergestellt werden.**

Benötigt ein Kunde ein Ersatzteil, kann dieses bei dem am nächsten beim Kunden gelegenen 3D-Druck-Anbieter anhand des digitalen Modells hergestellt und von dort geliefert werden. Dies erspart die kostspielige Lagerung und erlaubt es, die Transportwege möglichst kurz zu halten.

Veränderungen und Potenziale durch die Nutzung der 3D-Druck-Technologie:

- Die vorrätigen Ersatzteile können reduziert werden. Die Ersatzteile werden digital gelagert und bei Bedarf bei einem 3D-Druck-Anbieter ausgedruckt (Rapid Repair).
- Die Transportwege für die Ersatzteile werden reduziert, da das Ersatzteil nur noch vom Herstellungsort aus, welcher möglichst nahe beim Kunden liegt, verschickt werden muss.
- Wird diese Art des Ersatzteilmanagements Realität, werden vermehrt dezentrale 3D-Druck-Kapazitäten benötigt. Diese können für eine Vielzahl von Auftraggebern die Ersatzteile herstellen.

Daraus abgeleitet kann die folgende These aufgestellt werden:

***These 7: Physische Ersatzteillager werden durch digitale Pendants ersetzt. Ersatzteile werden nur noch bei Bedarf effektiv physisch mittels des 3D-Drucks hergestellt.***

### 8.6.8 Digitalisierung

**Die Produkte werden mit der Anwendung des 3D-Drucks zunehmend digitalisiert. Für alle Bauteile und Produkte liegen digitale 3D-Modelle vor, welche bei der Produktion, bei der Produktgestaltung, beim Kundendienst im Ersatzteilmanagement oder auch bei der Forschung und der Entwicklung Verwendung finden.**

Der 3D-Druck setzt voraus, dass die Pläne der Produkte und Bauteile digital abrufbar sind. Dies ermöglicht einen effizienten Austausch mit Partnern und Kunden, es muss aber auch verstärkt auf die Einhaltung der digitalen Rechte (Copyrights) geachtet werden.



Veränderungen und Potenziale durch die Nutzung der 3D-Druck-Technologie:

- Die Digitalisierung der Bauteile und Produkte ermöglicht es, die Wertschöpfungs- und Lieferketten fast vollständig zu digitalisieren. Im Optimalfall wird das Produkt erst durch den Kunden ausgedruckt, was wiederum die Lieferwege eliminiert.
- Mit dem Austausch der digitalen Pläne für Produkte und Bauteile muss verstärkt darauf geachtet werden, dass die Rechte des Eigentümers (Copyright) nicht verletzt werden.
- Die Digitalisierung ermöglicht es, Baupläne aus dem Internet herunterzuladen und mittels dem 3D-Druck zu realisieren. Die Produktion kann dabei an einen beliebigen Ort verlegt werden, es braucht einzig einen 3D-Drucker, welcher die geforderte Druck-Qualität liefern kann.

Daraus abgeleitet kann die folgende These aufgestellt werden:

***These 8: Die Wertschöpfungs- und Lieferketten werden durch den 3D-Druck vermehrt digitalisiert. Die effektive Produktion verlagert sich geografisch, als auch innerhalb der Wertschöpfungskette, näher zum End-Kunden.***

#### **8.6.9 Do-it-yourself**

**Der Kunde wird mit dem 3D-Druck befähigt, seine eigenen Bauteile oder Ersatzteile zu erstellen und zu produzieren. Er kann damit in die Wertschöpfungskette miteinbezogen werden.**

Der Kunde kann mit dem 3D-Druck in die Wertschöpfungskette integriert werden, in dem er digital gekaufte Produkte selber herstellt. Dies ermöglicht in Zukunft neue Geschäftsmodelle, welche jedoch in Abhängigkeit zur weiteren Entwicklung des 3D-Drucks stehen.

Daraus abgeleitet kann die folgende These aufgestellt werden:

***These 9: Der Kunde wird verstärkt in die Wertschöpfungs-Kette integriert. Der Kunde kann Produkte zukünftig digital erwerben und diese selber ausdrucken. Er wird damit Bestandteil der Wertschöpfungskette.***

#### **8.6.10 Zusammenfassung der Einflüsse auf die Wertschöpfungs- und Lieferkette**

Eine Zusammenfassung der soeben beschriebenen Einflüsse auf die Wertschöpfungs- und Lieferkette wird in der nachfolgenden Tabelle 20 gegeben.

Prozessschritt in der Wertschöpfungs- oder Lieferkette	Durch den 3D-Druck beeinflusste Bereiche in den Prozessschritten	Auswirkungen / Konsequenzen
<b>Transport und Logistik</b>	Lager-Management	Weniger einzelne Bauteile werden eingelagert, stattdessen Materialien für den 3D-Druck.
	Lieferanten-Management	Veränderungen der Lieferantenstrukturen. Der Fokus liegt verstärkt auf Material-Lieferanten (Spezialisten) für den 3D-Druck.
	Transport	Anstelle von Bauteilen oder fertigen Produkten werden Materialien für den 3D-Druck produziert. Die benötigten Transporte (z.B. weltweites Shipping) werden sich dabei verändern.
<b>Produktion</b>	Design-Freiheiten	Neue Formen und Geometrie-Optionen können verwendet werden.
	Leichtbauweise	Die Bauteile können bezüglich ihrem Gewicht optimiert werden. Dies führt in der Folge zu geringeren Kosten beim Einsatz und beim Transport der Bauteile.
	Materialeinsparungen	Es fallen weniger Materialabfälle bei der Produktion an oder das Material kann wiederverwendet werden.
	Integrierte Funktionalitäten	Die Bauteile können so gedruckt werden, dass diese bereits über eingebaute Funktionalitäten verfügen. Dies reduziert den Aufwand beim anschliessenden Zusammenbau der Teile.
	Vereinfachung des Maschinen-Parks	Es werden weniger Maschinen (3D-Drucker) für die Produktion benötigt. Der Maschinen-Park wird vereinfacht.
<b>Forschung und Entwicklung (R &amp; D)</b>	Prototypen- und Modell-Bau (Rapid Prototyping)	Prototypen und Modelle können in kurzer Zeit hergestellt werden. Dies vereinfacht die Entwicklung.
	Werkzeugbau (Rapid-Tooling)	Benötigte Werkzeuge können selber hergestellt werden. Spezialanforderungen können damit einfacher erfüllt werden.
<b>Absatz und Vertrieb</b>	Digitalisierung der Produkte	Die Produkte liegen in digitalen Bauplänen vor, die überall mit einem 3D-Drucker realisiert werden können. Dabei muss darauf geachtet werden, dass die Pläne nicht durch Dritte verwendet werden (Copyright).

Prozessschritt in der Wertschöpfungs- oder Lieferkette	Durch den 3D-Druck beeinflusste Bereiche in den Prozessschritten	Auswirkungen / Konsequenzen
	Dezentrale Produktion	Die Produktion kann dezentral erfolgen. In eigenen Produktionsstätten oder bei Partnern, welche ebenfalls über 3D-Drucker verfügen. Die Transportwege und Lieferzeiten können damit verkürzt werden.
Kundendienst / Services	Ersatzteil-Management	Ersatzteile können direkt hergestellt werden. Eine kostenintensive Lagerung der verschiedenen Ersatzteile an dezentralen Standorten entfällt.
	Individualisierte Produktgestaltung	Produkte werden gemäss den Wünschen des Kunden individualisiert produziert.

Tabelle 20: Zusammenfassung der Auswirkungen des 3D-Drucks  
Quelle: Eigene Darstellung

## 8.7 Neun Thesen zu den Implikationen auf die Wertschöpfungs- und Lieferketten

Anhand der oben beschriebenen Einflussbereiche konnten neun Thesen abgeleitet werden, wie der 3D-Druck bestehende Wertschöpfungs- und Lieferketten beeinflussen kann. Diese neun Thesen werden anschliessend nochmals kurz erklärt.

**These 1: Der Waren- und Güterstrom wird sich durch den 3D-Druck verändern. Die Materialien für den 3D-Druck ersetzen teilweise die heute weltweit transportierten Güter.**

**Erklärung:** Anstelle von fertigen Bauteilen oder Produkten, welche beispielsweise aus Asien nach Europa oder Amerika transportiert werden, wird das Filament für den 3D-Druck direkt aus den Herstellungsländern importiert. Der Güterstrom verändert sich dabei sowohl bezüglich Inhalt (Bauteile, Produkte) wie auch bezüglich der gefahrenen Routen (Wegen).

**Fazit:** Der 3D-Druck wird die Liefer- und Wertschöpfungsketten durch die Veränderung der transportierten Güter und Waren beeinflussen.

**These 2: Die Anzahl der Lieferanten pro Unternehmen wird sich mit dem Einsatz des 3D-Drucks reduzieren. Das Beschaffungswesen (Einkauf) wird sich dadurch einfacher gestalten.**

**Erklärung:** Im Unterschied zur heutigen Praxis, bei welcher Bauteile oder Komponenten extern durch Lieferanten produziert und dann im Unternehmen weiterverarbeitet werden, wird zukünftig vor allem Filament für den 3D-Druck benötigt. Dies ermöglicht es, die Anzahl der Lieferanten zu reduzieren. Die Unternehmen werden sich daher auf eine geringe Anzahl von Material-Lieferanten fokussieren können.

**Fazit:** Der 3D-Druck wird die Liefer- und Wertschöpfungsketten durch die Veränderung des Beschaffungswesens beeinflussen. Der Grund liegt dabei in der veränderten Art der zu beschaffenden Güter.

***These 3: Die technischen Vorteile und Design-Freiheiten des 3D-Drucks werden die Entwicklung und die Produktion von ausgesuchten Bauteilen und Produkten beeinflussen: Herkömmlich produzierte Bauteile werden gezielt durch gedruckte Versionen ersetzt.***

**Erklärung:** Die technischen Vorteile des 3D-Drucks werden gezielt eingesetzt. So wie im Kapitel 5.4.3 genannten Beispiel aus der Luftfahrt, wo dank dem 3D-Druck wesentlich leichtere Aufhänge-Halterungen produziert werden können. Mit dem Einsatz des 3D-Drucks werden nach und nach einzelne Bauteile umgestaltet und dadurch auf die jeweiligen Bedürfnisse optimiert. Innerhalb der Wertschöpfungskette wird sich der 3D-Druck etablieren und die heutigen Produktions-Methoden teilweise ersetzen.

**Fazit:** Der 3D-Druck wird die Liefer- und Wertschöpfungsketten durch angepasste Abläufe und Prozesse in der Produktion beeinflussen. Bestehende Prozesse werden durch die gezielte Eingliederung der Produktion mittels des 3D-Drucks ergänzt.

***These 4: Mit dem konsequenten Einsatz des 3D-Drucks werden sich die benötigten Lagerkapazitäten verringern. An der Stelle von Halbfabrikaten werden Materialien für den 3D-Druck gelagert. Die Lagerverwaltung gestaltet sich dadurch einfacher.***

**Erklärung:** Die Lager innerhalb der Lieferketten werden mit dem Einsatz des 3D-Drucks vermehrt für die Aufbewahrung von 3D-Druck-Materialien benötigt. Diese wiederum benötigen weniger Platz aufgrund ihrer Standardisierung (Pulver, Kunststoff-Filament etc.) als beispielsweise Halbfabrikate.

**Fazit:** Der 3D-Druck wird die Liefer- und Wertschöpfungsketten durch Anpassungen im Lagermanagement beeinflussen. Halbfabrikate werden durch 3D-Druck-Materialien abgelöst.

***These 5: Der 3D-Druck wird Produkt-Individualisierung ermöglichen (Mass Customization statt Massenproduktion). Produkte können vermehrt auf die individuellen Anforderungen der Auftraggeber angepasst werden.***

**Erklärung:** Mit dem Einsatz des 3D-Drucks innerhalb der Wertschöpfungskette wird es möglich, Produkte individueller zu gestalten, um damit besser auf die Wünsche der Kunden eingehen zu können. Dazu werden Prozess-Schritte in bestehenden Wertschöpfungsketten angepasst, indem die Produktion mittels 3D-Druck integriert wird.

**Fazit:** Der 3D-Druck wird die Liefer- und Wertschöpfungsketten durch die verstärkte Produktindividualisierung, basierend auf den Kundenanforderungen, beeinflussen.

***These 6: Im Bereich der Forschung und Entwicklung wird der 3D-Druck zum Standard bezüglich des Baus von Prototypen oder Modellen.***

**Erklärung:** Der 3D-Druck wird innerhalb des Entwicklungsprozesses zu Optimierungen führen, da damit auf einfache Art Prototypen und Modelle gedruckt werden können. Damit betrifft es einen unterstützenden Prozess innerhalb der Wertschöpfungskette.

**Fazit:** Der 3D-Druck wird die Wertschöpfungs- und Lieferketten durch einen massgeblichen Einsatz in der Entwicklung beeinflussen. Prototypen und Modelle werden zeitnah mittels dem 3D-Druck realisiert.

***These 7: Physische Ersatzteillager werden durch digitale Pendants ersetzt. Ersatzteile werden nur noch bei Bedarf effektiv physisch mittels des 3D-Drucks hergestellt.***

**Erklärung:** Die Wertschöpfungs- und Lieferkette kann mit der Unterstützung des 3D-Drucks im Bereich des Ersatzteilmanagements angepasst werden. Der 3D-Druck ermöglicht eine Reduktion der gelagerten Ersatzteile, indem die Teile erst bei Bedarf gedruckt werden.

**Fazit:** Der 3D-Druck wird die Wertschöpfungs- und Lieferketten durch die Digitalisierung der Ersatzteile beeinflussen. Die Ersatzteile liegen zukünftig digital vor und werden bei Bedarf gedruckt.

***These 8: Die Wertschöpfungs- und Lieferketten werden durch den 3D-Druck vermehrt digitalisiert. Die effektive Produktion verlagert sich geografisch, als auch innerhalb der Wertschöpfungskette, näher zum End-Kunden.***

**Erklärung:** Die Bauteile und Produkte liegen primär als digitales Modell vor. Diese Modelle werden innerhalb der Wertschöpfungs- und Lieferkette verwendet, sei es zum Drucken von Produkten oder zur Herstellung von Ersatzteilen. Ausserdem kann sich die effektive Produktion der Bauteile und Produkte an das Ende der Wertschöpfungskette verlagern, wenn der Einsatz des 3D-Druck konsequent eingesetzt wird.

**Fazit:** Der 3D-Druck wird die Liefer- und Wertschöpfungsketten durch eine Verlagerung der Produktion beeinflussen. Produkte werden vermehrt möglichst nah bei Kunden gedruckt und nicht mehr beispielsweise aus Asien importiert.

***These 9: Der Kunde wird verstärkt in die Wertschöpfungs-Kette integriert. Der Kunde kann Produkte zukünftig digital erwerben und diese selber ausdrucken. Er wird damit Bestandteil der Wertschöpfungskette.***

**Erklärung:** Setzt sich der 3D-Druck auch im privaten Bereich nach und nach durch, können die Produkte und Bauteile dem Kunden digital verkauft werden. Dieser druckt dann diese Bauteile zuhause selber aus. Damit wird der Kunde selber Teil der Wertschöpfungskette.

**Fazit:** Der 3D-Druck wird die Liefer- und Wertschöpfungsketten durch eine verstärkte Integration des Kunden beeinflussen. Die Kunden können Produkte digital erwerben und selber ausdrucken.

## 8.8 Abschluss der zweiten Forschungsfrage

Mit der Aufstellung der obenstehenden neun Thesen wurde die zweite Forschungsfrage "*Wie können additive Fertigungsmethoden bestehende Wertschöpfungs- und Lieferketten nachhaltig beeinflussen?*" aus dem Kapitel 1.3 beantwortet. Die neun Thesen zeigen auf, wie der 3D-Druck heutige Wertschöpfungs- und Lieferketten beeinflussen kann. Da diese Punkte auf erarbeiteten Zukunfts-Szenarien basieren, sind diese Punkte als mögliche, zukünftige Varianten und nicht als definitive Zukunftsentwicklung zu betrachten.

Wie sich der 3D-Druck effektiv auf die Wertschöpfungs- und Lieferketten auswirkt, wird sich erst bei einer vermehrten Anwendung und Integration in die Unternehmen im Verlauf der nächsten Jahre oder Jahrzehnte zeigen.

## 9 Aktuelle und zukünftige Möglichkeiten und Potenziale des 3D-Drucks

In diesem Kapitel werden anhand von Beispielen aus der Literatur die heutigen und zukünftigen Möglichkeiten und Potenziale des 3D-Drucks für Unternehmen und Privatpersonen beschrieben. Damit wird die im Kapitel 1.3 beschriebene dritte und letzte Forschungsfrage *"Welche neuen Möglichkeiten und Potenziale bietet der Trend der additiven Fertigungsverfahren aktuell und in Zukunft für Unternehmen und Privatpersonen?"* beantwortet.

Als Ausgangslage dienen einfache, theoretische Einsatz-Szenarien, welche im Folgenden kurz beschrieben werden und sich auf ein bestimmtes Anwendungsfeld beziehen. Die Szenarien sind nicht umfassend für den zukünftigen Einsatz des 3D-Drucks und dessen Potenziale, sollen aber aufzeigen, wie die Entwicklung aussehen kann.

Grundsätzlich können anhand der zuvor im Kapitel 8.7 aufgestellten Thesen ebenfalls die Potenziale und Möglichkeiten des 3D-Drucks abgeleitet werden. Darauf wird jedoch nicht genauer eingegangen, respektive die Tabelle 20 zeigt bereits mögliche Auswirkungen und Konsequenzen auf.

### 9.1 Einsatz-Szenario 1: Der 3D-Drucker für Zuhause

**Ausgangslage:** Ein 3D-Drucker wird im privaten Umfeld genutzt und eingesetzt. Es werden die jeweils aktuellen Technologien und Materialien verwendet.

#### Aktuelle Einsatzmöglichkeiten

Im privaten Umfeld wird aktuell hauptsächlich Kunststoff als Material verwendet. Wird mehr in den 3D-Drucker investiert, können auch andere Materialien eingesetzt werden. Aktuell kann im privaten Umfeld der 3D-Druck für die folgenden Aufgaben genutzt werden.

- Herstellung von Figuren und Formen aller Art. Diese werden entweder selber entworfen oder aus dem Internet heruntergeladen. Das Einsatzgebiet ist dabei vielfältig und schliesst beispielsweise kleine Haushaltsgegenstände, wie zum Beispiel Töpfe für Pflanzen, ebenso mit ein.
- Herstellung von einfachen Ersatzteilen, die nicht einzeln gekauft werden können oder im Handel zu teuer sind. Dies können beispielweise Schnallen für Taschen oder Rucksäcke sein.
- Herstellung von Modellen oder z.B. Nachbauten von Figuren aus Filmen.



Die folgenden Beispiele in der Abbildung 68 zeigen heutige Einsatzmöglichkeiten des 3D-Drucks im privaten Umfeld auf. Diese reichen von einem Batterie-Halter über eine Münz-Sortierbox bis hin zum Reisverschluss-Hebel.

Grundsätzlich sind der Kreativität keine Grenzen gesetzt. Eingeschränkt werden die Einsatzmöglichkeiten durch die im privaten Umfeld verfügbaren Materialien, deren Kombinierbarkeit sowie der Grösse der Druckfläche (Bauraum).

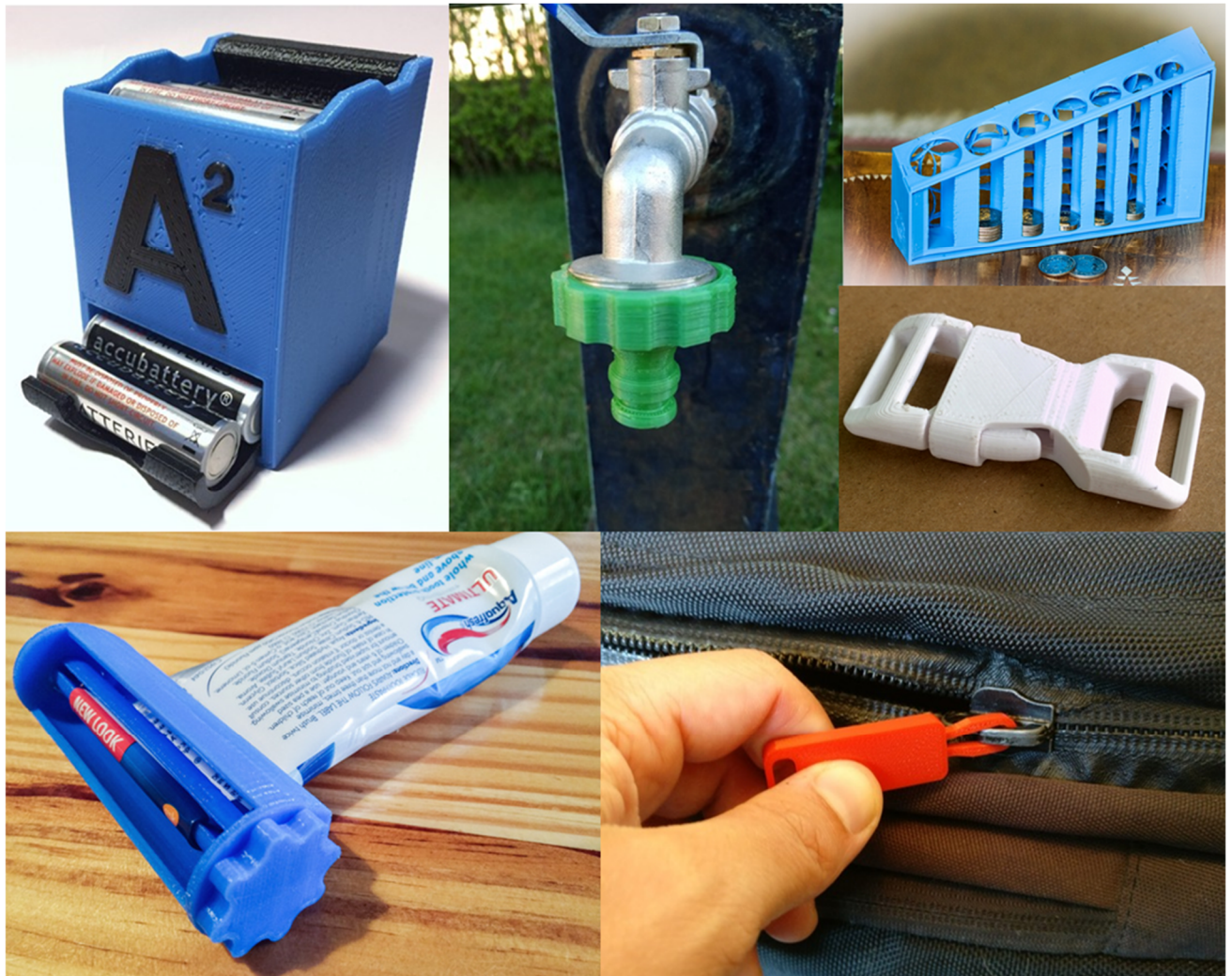


Abbildung 68: Beispiele von heutigen Einsatzmöglichkeiten des 3D-Drucks  
Quelle: Thinkiverse.com (2017)

### **Zukünftige Einsatzmöglichkeiten (Potenziale)**

Für die Zukunft ist die Entwicklung der 3D-Druck-Technologie, der Materialien und die Möglichkeit, Farben und Materialien zu kombinieren, entscheidend. Entwickelt sich der 3D-Druck dementsprechend weiter und bleibt die Technologie erschwinglich, können zukünftig Gebrauchsgegenstände, die heute eingekauft werden, selber hergestellt werden. Dazu können



beispielsweise mehrfarbige Hüllen für Smart Phones zählen. Der Transport dieser günstig produzierten Güter wäre dann nicht mehr notwendig. Die digitalen Pläne werden entweder online erworben/heruntergeladen oder selber erstellt.

Aktuell ist aber nicht anzunehmen, dass sich der 3D-Druck grossflächig in den Privathaushalten verbreitet, dazu ist die Anwendung heute noch zu technisch und damit zu kompliziert. Es wird einige vereinzelte Haushalte geben, welche sich in naher Zukunft einen 3D-Druck zulegen werden und damit die Produktion von bisher eingekauften Produkten selber übernehmen. Dies deckt sich mit der These Nummer 9 im Kapitel 8.6.9.

## 9.2 Einsatz-Szenario 2: Der 3D-Drucker im Gesundheitswesen

**Ausgangslage:** Ein 3D-Drucker wird im medizinischen Umfeld genutzt und eingesetzt. Es werden die jeweils aktuellen Technologien und Materialien verwendet.

### Aktuelle Einsatzmöglichkeiten

**Modelle von Organen drucken:** Mittels des 3D-Drucks können menschliche Organe oder Körperteile als Modell oder in Originalgrösse nachgebaut werden. Dabei hat es das Unternehmen General Electric Healthcare (GE Healthcare) in Tests geschafft, Daten von einem Computertomographen (CT) in digitale Modelle umzuwandeln, um mit diesen Daten ein Modell des untersuchten Organs herzustellen. Anhand der Modelle können Ärzte und Patienten ein besseres Verständnis für die Krankheit entwickeln (Kellner, 2017).

**Prothesen aus dem 3D-Drucker:** Wie bereits im Kapitel 5.4.6 erwähnt, können heute bereits individuelle Prothesen für Patienten mittels des 3D-Drucks hergestellt werden.

### Zukünftige Einsatzmöglichkeiten (Potenziale)

Die folgenden beiden Beispiele zeigen weitere zukünftige Einsatzmöglichkeiten des 3D-Drucks in der Medizin.

**Lebende Zellen drucken:** Aktuell wird daran geforscht, aus lebenden Zellen menschliches Knorpelgewebe zu drucken. So arbeitet die ETH Zürich mit der Hirslanden-Klinik und dem Luzerner Kantonsspital an einer Ohrmuschel aus dem 3D-Drucker. Das Ziel ist es, noch im Jahr 2017 erstmals Kinder mit Ohrmuscheldeformität behandeln zu können (Niederer, 2016).

**Organe aus dem 3D-Drucker:** Das Drucken von Organen wird aktuell erforscht, würde es doch die Probleme bei Organspenden lösen. Erste Tests mit künstlich hergestellten Nieren bei Tieren waren erfolgreich. Um die im organischen Gewebe enthaltenen Mikrokanaäle und Blutbahnen drucken zu können, müssen die beim 3D-Drucker verwendeten Spritzdüsen extrem fein sein, mit einem Durchmesser von einem bis zwei Mikrometern, was ca. 80-mal kleiner als der Durchmesser eines menschlichen Haares ist (Bab, 2016).

**Knochen aus dem 3D-Drucker:** Dank des aufbauenden Prinzips des 3D-Drucks können poröse Knochenstrukturen besser als herkömmliche CNC-Maschinen gefertigt werden. Diesen Vorteil will ein Start-Up aus Deutschland nutzen und Wirbelsäulen-Implantate aus Titan mittels des 3D-Drucks herstellen. Die Teile können dank des 3D-Drucks anatomisch perfekt hergestellt werden und durch die poröse Struktur wachsen die Zellen in das Implantat hinein. Dies soll die Gefahr einer Abstossung verringern (Schmale, 2017).

Diese aufgeführten Beispiele zeigen, dass der 3D-Druck in der Medizin in Zukunft wichtige Verbesserungen bringen kann und über ein grosses Potenzial verfügt. Privatpersonen sowie Unternehmen könnten davon profitieren, sei es dank besseren Heilungsoptionen oder bei der Entwicklung und Produktion solcher Implantate.

### **9.3 Einsatz-Szenario 3: Der 3D-Drucker in der Nahrungsmittel-Industrie**

**Ausgangslage:** Der 3D-Druck wird für die Herstellung und Gestaltung von Nahrungsmitteln verwendet.

#### **Aktuelle Einsatzmöglichkeiten**

Das Prinzip des 3D-Drucks, bei dem flüssige Materialien Schicht für Schicht aufgebaut werden, eignet sich auch für die Herstellung von Nahrungsmitteln. So wurde im Juli 2016 in London das Restaurant "Food Ink" eröffnet, welches Speisen aus dem 3D-Drucker serviert. Dabei werden Lebensmittelpasten erwärmt (z.B. Teig, Pudding, püriertes Obst oder Gemüse etc.) und anschliessend mittels einem 3D-Drucker auf einem Teller kreativ angerichtet, wie beispielsweise der Salat auf der folgenden Abbildung 69 (Abbey-Obaro, 2017).

In diesem Bereich des 3D-Drucks spielen die Materialien, also die Zutaten, eine extrem wichtige Rolle, da diese dem Essen den unverkennbaren Geschmack verleihen.



Abbildung 69: Kreativ angerichteter Salat aus dem 3D-Drucker  
Quelle: Abbey-Obaro (2017)

### **Zukünftige Einsatzmöglichkeiten (Potenziale)**

Die folgenden beiden Beispiele zeigen zukünftige, potenzielle Einsatzmöglichkeiten des 3D-Drucks bei der Verarbeitung von Nahrungsmitteln.

**Einsatz im Altersheim/Krankenhaus:** Eine zukünftige Anwendung des 3D-Drucks im Nahrungsmittelbereich ist die Herstellung des sogenannten "Smoothfood". Unter dem Begriff "Smoothfood" versteckt sich ein Konzept zur Ernährung von älteren Menschen mit Schluckstörungen oder anderen Krankheiten, die die normale Nahrungsaufnahme verunmöglichen. Dabei werden frische Lebensmittel vorbereitet (gekocht, gegart etc.) und anschliessend mittels mixen, pürieren, passieren etc. verkleinert oder gar verflüssigt. Diese Lebensmittel können mittels dem 3D-Druck wieder in eine optisch ansprechende Form gebracht werden. Dieses gedruckte, weiche Essen kommt dann in Altersheimen oder auch Krankenhäusern zum Einsatz (SRF Einstein, 2015).

**Diätplanung:** Der Vorteil des 3D-Drucks von Nahrungsmitteln liegt nicht nur in der schönen Gestaltung der Speisen, mit dem 3D-Druck können auch unterschiedliche Nahrungsmittelzusätze wie Vitamine etc. gemischt und auf die jeweiligen Bedürfnisse angepasst werden. Der 3D-Drucker kann dabei auf die persönliche Diätplanung abgestimmt werden und die Funktion eines Gesundheitsassistenten übernehmen (Vonmont, 2015).

## 9.4 Einsatz-Szenario 4: Der 3D-Drucker im Ersatzteil-Management

**Ausgangslage:** Der 3D-Druck wird im Ersatzteil-Management eingesetzt. Ersatzteile werden nicht mehr physisch an Lager gehalten, sondern werden entsprechend der Nachfrage hergestellt.

### Aktuelle Einsatzmöglichkeiten

**Ersatzteile für LKW's:** Ersatzteile für Produkte müssen normalerweise über die ganze Produktlebensdauer angeboten und damit vorrätig sein. Genau dieses Problem hat auch der LKW-Hersteller Mercedes-Benz. Für die verschiedenen Baureihen der LKW's mussten bisher Ersatzteile vorrätig sein, welche teilweise nur wenige Male pro Jahr angefordert wurden. Daher hat Mercedes-Benz seit letztem Jahr auf die Herstellung von Ersatzteilen mittels 3D-Druck umgestellt. Ab dem September 2016 werden rund 30 verschiedene Ersatzteile in Original-Qualität mittels dem 3D-Druck hergestellt, wobei diese Zahl laufend zunimmt. Der LKW-Hersteller geht dabei davon aus, dass die Ersatzteilmontage und -lieferung dabei erheblich beschleunigt werden kann. Ausserdem liegen die Pläne der Ersatzteile digital vor und können über Jahre hinweg immer wieder problemlos nachgedruckt werden. Zugleich fallen weniger Kosten an und die Umwelt wird dank weniger Materialabfälle geschont. Gemäss Mercedes-Benz bietet der 3D-Druck eine sichere Ersatzteilversorgung, eine schnelle Lieferfähigkeit und eine gute Wirtschaftlichkeit (Daimler, 2016).

Auch der Nutzfahrzeughersteller MAN ist daran, seine Ersatzteilmontage mit der Unterstützung des 3D-Drucks zu optimieren. So haben erste Versuche im Jahr 2015 gezeigt, dass die Lieferzeit von speziellen Bauteilen dank dem 3D-Druck von heute zwei bis drei Wochen auf nur noch fünf Tage reduziert werden kann. Damit lässt sich die Verfügbarkeit von Ersatzteilen generell verbessern. Als nächsten Schritt müssen die Standardprozesse für das Ersatzteilmanagement bei MAN etabliert werden (Wöhrle, 2015).

**Ersatzteile für die Bahn:** Auch der Technologiekonzern Siemens setzt den 3D-Druck im Ersatzteilmanagement für seine Produkte ein. So nennt Siemens das Beispiel eines Bauteils, ein sogenannter Klemmkasten, für den Hochgeschwindigkeitszug ICE aus den Baujahren 1989 bis 1993. Der Bedarf an diesem Bauteil ist gering, dank des 3D-Drucks kann das Ersatzteil aber trotzdem schnell hergestellt werden, was die Ausfallzeit der ICE-Züge und damit die Kosten reduziert (Breuer, 2016).

### Zukünftige Einsatzmöglichkeiten (Potenziale)

**Optimierung der Transportwege für Ersatzteile:** Das deutsche Logistik-Unternehmen DHL kommt in einer Studie aus dem Jahr 2016 zum Schluss, dass dank des 3D-Drucks Unterneh-

men Ersatzteile nicht mehr in Lagerhäuser physisch vorrätig halten müssen. Stattdessen können Ersatzteile bei Bedarf gedruckt werden, die Lagerung findet nur noch digital bei Logistik-Providern statt. Die Logistik-Provider übernehmen die Herstellung der Ersatzteile mittels 3D-Druck und deren Auslieferung, wie es die Abbildung 70 zeigt. Die Untersuchungen von DHL haben aber auch gezeigt, dass dieses Geschäftsmodell heute noch keinen realisierbaren Business Case ergibt, es jedoch wahrscheinlich ist, dass dieses Modell in der Zukunft zum Einsatz kommen wird (DHL Trend Research, 2016).



Abbildung 70: Ersatzteile on demand mit einem Logistik-Dienstleister  
Quelle: DHL Trend Research (2016)

Dieses Beispiel deckt sich mit der These Nummer 7 zum Thema Ersatzteilmanagement aus dem Kapitel 8.6.7.

## 9.5 Beispiele von Chancen und Gefahren des 3D-Drucks

In diesem Kapitel werden Chancen und Gefahren beschrieben, welche im Zusammenhang mit dem 3D-Druck entstehen können. Dazu werden ausgewählte Beispiele kurz dargestellt.

### 9.5.1 Digitaler Warenverkehr: Wegfall der Kontrollfunktion des Zolls

Der 3D-Druck verfügt über die Eigenschaft, dass die Produktion unabhängig von der Entwicklung erfolgen kann. Das bedeutet, dass es möglich sein wird, ein Produkt in der Schweiz zu entwickeln, die Produktion aber irgendwo auf der Welt stattfinden kann. Das Werkzeug dazu ist der 3D-Drucker. Beispielsweise kann ein Produkt hier in der Schweiz entworfen und in Asien können anschliessend zehn Stück davon gefertigt werden. Anstatt die zehn Stück von der

Schweiz aus zu verschicken, was lange dauert und Versand- und Zollgebühren kostet, kann einfach die CAD-Datei übermittelt werden. Die Zollformalitäten können damit komplett umgangen und die Transportwege kurz gehalten werden (Bilanz - Das Schweizer Wirtschaftsmagazin, 2016).

Die Kontrollfunktion des Zolls, welcher sich um Exportvorschriften, um Verbraucherschutzmassnahmen und andere Sicherheitsaspekte kümmert, fällt mit der Digitalisierung des internationalen Warenverkehrs weg. Gleichzeitig werden sich auch die Zolleinnahmen verringern (AEB, 2014).

Aktuell ist dieses Beispiel noch Zukunftsmusik. Sobald jedoch verschiedene Materialien kombiniert gedruckt werden können, wird dieses Geschäftsmodell umsetzbar (Bilanz - Das Schweizer Wirtschaftsmagazin, 2016).

Dieses Beispiel unterstützt die dreis Thesen Nummer 1 (Logistik und Transport), Nummer 8 (Digitalisierung) und Nummer 9 (Do-it-yourself) aus dem Kapitel 8.7 und zeigt, dass die Digitalisierung ein wichtiger Einflussbereich des 3D-Drucks darstellt und dass der Kunde Teil der Wertschöpfungskette werden kann.

### **9.5.2 Verlagerung von Arbeitsplätzen zurück nach Europa**

Wie das Beispiel von Adidas im Kapitel 5.4.8 zeigt, hat der 3D-Druck das Potenzial, Arbeitsplätze zurück in den Westen zu bringen. Aber auch die Produktion von Alltagsprodukten, welche heute in Asien gefertigt werden, könnten dank des 3D-Drucks wieder zurück nach Europa verlagert werden (Sonnet, 2013). Ob sich das Beispiel von Adidas etabliert, wird sich in der Zukunft zeigen.

Für Unternehmen bietet sich mit dem 3D-Druck die Chance, wieder vermehrt in ihren Stammländern und vor allem näher beim Kunden zu produzieren, was sich mit der These Nummer 8 (Digitalisierung) aus dem Kapitel 8.7 deckt.

### **9.5.3 Der 3D-Druck in der Raumfahrt: Ersatzteile und Mondbasen aus dem 3D-Drucker**

Die europäische Raumfahrt-Organisation ESA experimentierte bereits mit 3D-Druckern für den Einsatz im Weltall. Dabei soll mittels dem 3D-Druck eine Mondbasis erstellt werden. Dazu wurde ein spezieller, sechs Meter grosser 3D-Drucker mit der Bezeichnung "D-Shape TM Drucker" entwickelt. Dieser ist in der Lage, sandartiges Baumaterial zusammen mit einem Binde-

mittel zu verarbeiten. Die Idee dahinter ist, dass für den Bau einer Basis auf dem Mond möglichst viele Materialien verwendet werden, welche auf dem Mond bereits vorhanden sind und somit nicht dorthin transportiert werden müssen.

Mit dem Drucker konnte bereits ein 1.5 Tonnen schwerer Baustein hergestellt werden. Dazu wurde ein spezielles Basaltgestein verwendet, welches dem Gestein auf dem Mond sehr ähnlich ist. Die Tests zeigen, dass der 3D-Druck den Bau einer Mondbasis unterstützen kann, das Grundkonzept dazu wurde mit diesem Experiment bestätigt (European Space Agency, Ohne Datum).

**Ersatzteile und Werkzeuge vor Ort herstellen:** Auch auf der Internationalen Raumstation ISS ist bereits seit 2014 ein 3D-Drucker im Einsatz, um benötigte Ersatzteile für die Station, aber auch für den Drucker selber herzustellen. Der 3D-Druck im Weltall musste dabei zuerst getestet werden, da dort keine Gravitation vorhanden ist. Die Tests verliefen erfolgreich und es konnte im Jahr 2014 zum ersten Mal ein Objekt mittels 3D-Druck im Weltraum hergestellt werden (Hubscher, 2014). Neben Ersatzteilen aus dem 3D-Drucker wurde in der Raumstation auch überprüft, ob mittels 3D-Druck Werkzeuge hergestellt werden könnten. So wurde ein Schraubenschlüssel, wie in der Abbildung 71 dargestellt, mit dem 3D-Drucker hergestellt. Dieser wurde zwar nicht verwendet, zeigt aber die Möglichkeit auf, wie in Zukunft benötigte Werkzeuge auf der ISS selber produziert werden könnten, anstatt sie dafür zur Raumstation zu fliegen (NASA, 2014).



Abbildung 71: Auf der ISS hergestellter Schraubenschlüssel  
Quelle: NASA (2014)

Dieses Beispiel eines Schraubenschlüssels zeigt das Potenzial, neben Bauteilen oder Produkten, zukünftig in abgelegenen Regionen (wie auf einer Raumstation) Werkzeuge aus dem 3D-Drucker zu fertigen. Gerade bei Spezialwerkzeug, welches nicht immer zu Hand ist, bieten sich hier neue Optionen.

### 9.5.4 Waffen aus dem 3D-Drucker: Ein gefährliches Potenzial

Die erste Waffe aus dem 3D-Drucker wurde bereits im Jahr 2013 durch den Jura-Studenten Cody Wilson aus Texas erstmals vorgestellt. Die unter dem Namen "Liberator" bekannte Plas-



tik-Waffe besteht aus 16 Teilen und ist, mit Ausnahme des Schlagbolzens, komplett aus Kunststoff gefertigt. Die Waffe war der Beweis, dass es möglich ist, einen Lauf mittels eines 3D-Druckers zu erstellen, welcher bei der Schussabgabe nicht zerstört wird. Die Vorlage dazu stammt von einer im zweiten Weltkrieg eingesetzten, einschüssigen Partisanen-Waffe (Greenberg, 2013). Die Abbildung 72 zeigt die einzelnen Teile, aus welchen diese gedruckte Waffe besteht.

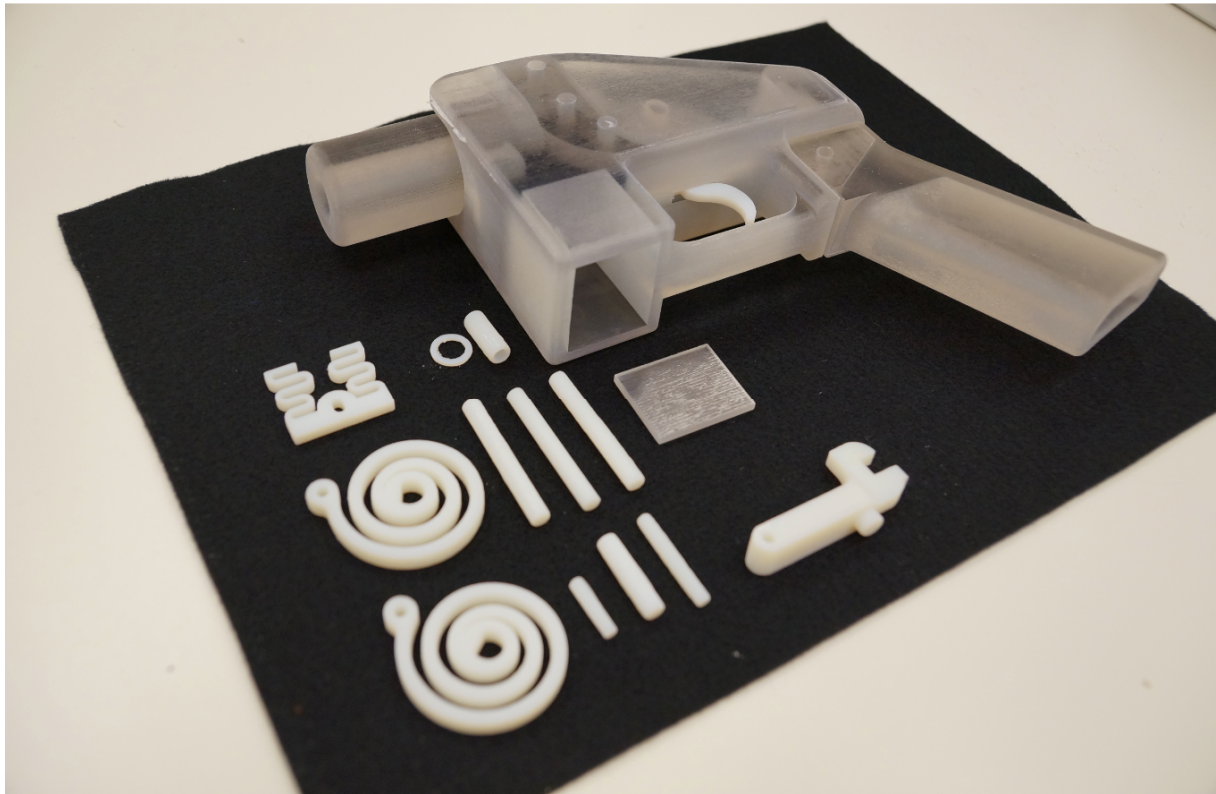


Abbildung 72: Die erste Waffe aus dem 3D-Drucker  
Quelle: 3DPrint.com (2015)

Diesem ersten Beispiel einer Waffe aus dem 3D-Drucker folgten weitere Exemplare, welche wesentlich verbessert wurden und auch nicht mehr aus Plastik bestanden. So wurde noch im selben Jahr eine Nachbildung eines Colt 1911 aus dem 3D-Drucker erstellt. Diesmal bestand die Waffe aus Metall und wurde mittels der Methode des "Selektiven Laserschmelzen" (siehe Kapitel 5.3.3) hergestellt. Gemäss dem Hersteller konnten damit problemlos 50 Schüsse abgefeuert werden. Dieses Mal wurden jedoch die digitalen Baupläne nicht online zur Verfügung gestellt (Berger, 2013).

Diese beiden Beispiele zeigen, dass der 3D-Druck auch Schattenseiten hat. So müssen die Sicherheitsbeamten an den Flughäfen geschult werden, um diese Art von Pistolen auf den Röntgenbildern zu erkennen, zusammengebaut oder als Einzelteile. Auch besteht die Gefahr, dass Kriminelle den 3D-Druck für ihre Zwecke missbrauchen (Nock, 2013).



Die grosse Gefahr geht hier aber im Wesentlichen davon aus, dass die Pläne für solche Waffen mittlerweile im Internet verfügbar sind. Wer sich eine solche Waffen drucken will, der findet die notwendigen Pläne im Netz. Die Digitalisierung, ein im Kapitel 8.6 identifizierter Einflussbereich des 3D-Drucks, ermöglicht die Produktion mittels 3D-Druck nahezu überall auf der Welt. Mit der zunehmenden Digitalisierung sinkt automatisch auch die Eintrittsschwelle und die Produktion wird einfacher: Alle, die eine Waffe produzieren wollen, können dies dank dem 3D-Druck auch tun (in Anlehnung an die These Nummer 9: Do-it-yourself).

## **9.6 Fazit zu den zukünftigen Möglichkeiten und Potenzialen des 3D-Drucks**

Die Szenarien mit den vorgestellten Beispielen zeigen, in welchen Bereichen mögliche Potenziale des 3D-Drucks für Privatpersonen und Unternehmen liegen. Einerseits liegen die Potenziale bei der Individualisierung und bei den Design-Freiheiten. Sowohl im privaten Umfeld wie auch beispielsweise bei den Nahrungsmitteln können eigene, individuelle Kreationen hergestellt werden. Ebenso in der Medizin, in welcher es der 3D-Druck eines Tages vielleicht ermöglichen wird, Knochen oder gar Organe exakt auf die Anforderungen des Patienten zu erzeugen.

Im privaten Umfeld kann sich der 3D-Druck zum universellen Werkzeug entwickeln, welcher es ermöglicht, kleinere Alltagsgegenstände bei Bedarf und anhand der eigenen Vorstellungen herzustellen. Ob der 3D-Drucker zukünftig in jedem Haushalt anzutreffen ist, ist heute schwer abzuschätzen und ist abhängig von der weiteren Entwicklung des 3D-Drucks. Ein Hindernisgrund dafür könnte allenfalls das bisher noch notwendige Wissen im Bereich der digitalen Konstruktion am Computer sein.

Für Unternehmen liegt das Potenzial in der zunehmenden Digitalisierung von Produkten. Diese müssen nicht mehr physisch vorrätig sein, sondern werden bei Bedarf aus einem digitalen Warenhaus hergestellt - zukünftig vielleicht auch möglichst nahe beim Kunden, damit die Transportwege so kurz wie möglich gehalten werden können. Dies hat wiederum Auswirkungen auf den Warenverkehr, welcher digital Grenzen überqueren kann, ohne kontrolliert zu werden.

Die Technologie beinhaltet aber auch neue Gefahren, wie dass beispielsweise Waffen oder andere gefährliche Gegenstände von jedermann unkontrolliert hergestellt werden können. Die Kontrolle, wer welche Waffe besitzt, wird damit zunehmend schwieriger.

Es kann angenommen werden, dass der 3D-Druck viele neue Möglichkeiten und Potenziale in den unterschiedlichsten Bereichen haben wird: Einerseits im unternehmerischen Umfeld, in welchem es neue Optionen im Bereich der Liefer- und Wertschöpfungsketten eröffnet, aber

auch im persönlichen Umfeld, in welchem der Mensch im Zentrum steht. Wohin dies führen wird und was der effektive Nutzen des 3D-Drucks sein wird, wird sich in naher Zukunft zeigen. Heutige Grenzen des 3D-Drucks bezüglich der Technologie, den verschiedenen Materialien, deren Kombinierbarkeit, der Druck-Geschwindigkeit sowie der Wirtschaftlichkeit werden sich dann allenfalls aufgelöst haben.

Damit wird die dritte Forschungsfrage "*Welche neuen Möglichkeiten und Potenziale bietet der Trend der additiven Fertigungsverfahren aktuell und in Zukunft für Unternehmen und Privatpersonen?*" beantwortet.

## 10 Überprüfung der erarbeiteten Thesen

Mittels Experten-Interviews werden die aufgestellten Thesen aus den erarbeiteten Szenarien überprüft. Dies ist der letzte Schritt dieser Master-Thesis und erfolgt gemäss dem im Kapitel 3.3 definierten Forschungs-Design. Die Experten-Interviews basieren auf dem Fragebogen im Anhang, die transkribierten Interviews befinden sich pro Interview in einem eigenen Dokument, welches digital der Master-Thesis beigelegt ist.

### 10.1 Aufbau des Fragebogens

Für die Experten-Interviews wurde ein Fragebogen erstellt, welcher auf den Kategorien A bis E basiert. Jede Kategorie fokussiert sich auf die Überprüfung eines bestimmten, in dieser Arbeit behandelten Themas. Die Kategorien sind gemäss der folgenden Tabelle 21 aufgeteilt:

Kat.	Titel	Referenz auf Kapitel und Thema
A	Technologie des 3D-Drucks	Kapitel 5.1, Kapitel 5.2 und Kapitel 5.3
B	Materialien in der Anwendung	Kapitel 5.3
C	Aktuelle Anwendungsfelder	Kapitel 5.4
D	Thesen zu den Veränderungen der Wertschöpfungs- und Lieferketten durch den 3D-Druck	Kapitel 8.6 und Kapitel 8.7
E	Zukünftige Potenziale und Entwicklung des 3D-Drucks	Kapitel 9

Tabelle 21: Kategorien des Interviewfragebogens  
Quelle: Eigene Darstellung

Insgesamt wurden drei Experten-Interviews durchgeführt. Dabei wurden die folgenden drei Experten gemäss der Tabelle 22 befragt:




Experten Nr.	Name und Kürzel des Experten	Hintergrundinformationen
1	Thomas Gagg (THG)	 <p>Mitglied bei FabLab Zürich. Entwickelt und baut selber 3D-Drucker und stellt die Teile dazu auch selbst mittels des 3D-Drucks her. Der 3D-Druck ist sein Hobby. Kontakt: <a href="mailto:thomas.gagg@bluewin.ch">thomas.gagg@bluewin.ch</a></p>
2	Niklaus Schulz (NIS)	 <p>Geschäftsführer des Unternehmens my3DWorld in Zürich. Das Unternehmen my3DWorld entwickelt und druckt Bauteile mittels 3D-Druck im Auftrag von Privat- und Geschäftskunden. Adresse: Ankerstrasse 53, 8004 Zürich Internet: <a href="https://www.my3dworld.ch/">https://www.my3dworld.ch/</a></p>
3	Ralf Schindel (RAS)	 <p>Geschäftsführer der Firma Prodartis AG in Appenzell. Die Firma Prodartis AG entwickelt und druckt Bauteile mittels 3D-Druck im Auftrag der Kunden. Der Fokus liegt in der industriellen Fertigung. Adresse: Hoferbad 12, 9050 Appenzell Internet: <a href="http://www.prodartis.ch">http://www.prodartis.ch</a></p>

Tabelle 22: Auflistung der Experten für die Interviews  
Quelle: Eigene Darstellung

In den Ausführungen zu den Interview-Auswertungen wird jeweils mit dem Kürzel des Experten und einer Zeilennummer eine Referenz zu den Abschriften der Experten-Interviews gemacht. Damit sind die Aussagen der Experten einfacher auffindbar. Die Abschriften der Interviews befinden sich auf der zur Master-Thesis beigelegten CD-ROM, ebenso die effektiven Audio-Aufzeichnungen der Interviews.

Die Experten-Interviews ergaben die in den folgenden Kapiteln beschriebenen Resultate. Zentral dabei ist die Überprüfung und Bestätigung der Thesen aus den Szenarien.

## 10.2 Auswertung der Kategorie A (Technologie)

Die Experten-Interviews haben bezüglich der 3D-Druck-Technologie ergeben, dass die am meisten verbreitete 3D-Druck-Methode das FDM (Fused Deposition Modeling) ist, wie es im Kapitel 5.3.4 beschrieben wurde (THG, Zeile 67 / NIS, Zeile 7). In den beiden Unternehmen der befragten Experten wird neben der FDM-Methode noch das Multi-Jet Printing (Poly-Jet-Printing), das Color-Jet-Printing, Selektives Laser Sintering (SLS) und die DLP-Methode (Digital Light Processing) angewandt (NIS, Zeile 7 / RAS, Zeile 266).

Einer der wichtigen Vorteile des 3D-Drucks ist es, schnell physische Bauteile realisieren zu können. Dies haben alle drei Experten bestätigt (THG, Zeile 135 / NIS, Zeile 32 / RAS, Zeile 36). Dieser Vorteil wurde auch im Kapitel 5.4.5, am Beispiel der Reduzierung der Entwicklungszeit für Gasturbinenschaufeln, erwähnt.

Auch die Freiheiten im Design wurden von den Experten hervorgehoben (THG, Zeile 138). Bauteile, die bislang in mehreren Schritten hergestellt werden mussten, können durch den 3D-Druck in einem Stück gefertigt werden (RAS, Zeile 58). Die Design-Freiheiten als Vorteil des 3D-Drucks wurden im Kapitel 5.3.7 ebenfalls aufgelistet.

Als Nachteil wird einerseits der Preis pro produziertem Bauteil mit wenig Skalierungsmöglichkeiten gesehen (NIS, Zeile 34), aber auch die teilweise noch recht hohe Ausschussquote von bis zu 40% (THG, Zeile 198 / NIS, Zeile 39). Diese beiden Punkte wurden im Kapitel 7.2.1 als Schlüsselfaktor der 3D-Drucktechnologie identifiziert.

Der teuerste oder aufwändigste Prozess-Schritt im 3D-Druck ist die Erstellung der CAD-Datei. Dazu wird neben der Kreativität auch technisches Wissen und eine vorausschauende Planung benötigt (THG, Zeile 147 / NIS, Zeile 165).

Weitere Informationen aus den Experten-Interviews zur Technologie des 3D-Drucks können den Interview-Abschriften entnommen werden.

### **10.3 Auswertung der Kategorie B (Materialien)**

Wie im Kapitel 5.3.4 dargestellt, wird im privaten Umfeld vorwiegend mit Kunststoffmaterialien gearbeitet (THG, Zeilen 77, 101). Bei diesen Materialien muss ein Augenmerk auf die thermischen Eigenschaften gelegt werden, da ansonsten die Gefahr besteht, dass sich die Teile während des Drucks oder danach, bei höheren Aussentemperaturen, verziehen (THG, Zeilen 86, 96 / NIS, Zeile 117). Ebenso sind einige Materialien nicht langzeitstabil, duktil oder degradieren unter UV-Licht. Dies kann jedoch nicht generalisiert werden (NIS, Zeile 140).

Aber auch weitere Materialien wie Nylon (THG, Zeile 106 / NIS, Zeile 126) oder kombinierte Materialien mit speziellen äusseren Merkmalen (THG, Zeile 171 / NIS, Zeile 119) kommen zur Anwendung (Vergleich Kapitel 5.3). Bei der Wahl der Materialien sind immer die jeweiligen Eigenschaften genau zu prüfen. Ausserdem entscheiden die Anforderungen an das zu druckende Produkt über die Wahl der Materialien (NIS, Zeile 130).

Je nach Anwendungsfall müssen die gedruckten Teile nachbearbeitet werden, wie auch im Kapitel 5.1 erwähnt wurde. Steht die Funktionalität im Vordergrund oder sind die Teile nicht exponiert, also nicht einsehbar, spielt beispielsweise die Oberflächenqualität eine geringe Rolle (THG, Zeile 235).

Es wurde mehrmals von den Experten erwähnt, dass mit dem 3D-Druck weniger Abfall bei der Produktion entsteht (THG, Zeile 358), respektive das überschüssige Material wiederverwendet werden kann (RAS, Zeile 107). Der Materialverbrauch wurde im Kapitel 7.2.1 unter dem Schlüsselfaktor "Materialien und Materialvielfalt" in die Szenarien-Entwicklung miteinbezogen.

Weitere Informationen aus den Experten-Interviews zu den Materialien im 3D-Druck können den Interview-Abschriften entnommen werden.

## **10.4 Auswertung der Kategorie C (Anwendungsfelder)**

Aus den Interviews geht hervor, dass die Freiheiten beim Design eine der grossen Stärken des 3D-Drucks ist (THG, Zeile 137). Aber auch, dass mit der Anwendung des 3D-Drucks die Produktionskette generell optimiert werden kann, da die Zeit zwischen der Entwicklung und dem effektiven Prototypenbau verkürzt werden kann (THG, Zeile 135 / NIS, Zeile 48). Dies wurde auch unter dem Aspekt des Rapid Prototypings gesehen (NIS, Zeile 60). Dieser Vorteil im Prototypenbau wurde in den Kapiteln 5.4.2 und 5.5 aufgeführt.













Generell ist gemäss den Experten die Entwicklung des 3D-Objekts am Computer, die digitale Arbeit, der aufwändigste Prozessschritt (THG, Zeile 147 / NIS, Zeile 167). Hier wird auch das meiste Know-How benötigt, sei es in der Bedienung der CAD-Software, dem Produkt-Design oder in der Berücksichtigung der Materialfestigkeit (NIS, Zeilen 78, 96). Der Druck selber kann mehrere Stunden oder auch fast einen ganzen Tag dauern, jedoch ist dies reine Maschinenzeit und muss nicht beaufsichtigt werden (THG, Zeile 157 / NIS, Zeile 66).













Bei den Anwendungsfeldern wurden durch die Experten Beispiele aus dem Möbel-Design (THG, Zeile 265), der Automobil-Industrie (RAS, Zeile 17), der Energie-Wirtschaft (RAS, Zeile 261) oder der Medizin (Prothesen oder Organ-Abbildungen zur präoperativen Planung) erwähnt (NIS, Zeile 173). Generell gibt es bereits Verwendung in fast allen Anwendungsfeldern. So wurden vom Unternehmen my3DWorld bereits Projekte für Hotels, Konditoreien sowie Architekturbüros realisiert (NIS, Zeile 172) und die Prodartis AG lieferte beispielsweise Bauteile für das Elektro-Flugzeug Solar Impulse (RAS, Zeile 242).

Weitere Informationen aus den Experten-Interviews zu den Anwendungsfeldern im 3D-Druck können den Interview-Abschriften entnommen werden.




## **10.5 Auswertung der Kategorie D (Thesen)**

Die im Kapitel 9 aus den Szenarien erarbeiteten Thesen wurden bei den Experten-Interviews besprochen. Dabei wurde überprüft, ob die Experten den Thesen zustimmen. Die Zustimmung der einzelnen Thesen erfolgte gemäss den Antworten aus der folgenden Tabelle 23.

These Nr.	Thema	Antwort Thomas Gagg	Antwort Niklaus Schultz	Antwort Ralf Schindel
1	<b>Logistik und Transport</b>			
	Begründung Thomas Gagg	Die These stimmt nur für bestimmte Bereiche. Nicht alle Bauteile und Produkte werden in Zukunft bei uns mit dem 3D-Drucker hergestellt werden (Zeile 304).		
	Begründung Niklaus Schultz	Es werden weiterhin Güter transportiert. Aber das Rohmaterial wird näher zum Kunden befördert. Die Logistikwege werden sich dadurch verändern (Zeilen 223, 234).		
	Begründung Ralf Schindel	Die Entwicklung und die Produktion rücken mit dem 3D-Druck näher zusammen. Dadurch wird auch wieder mehr hier in der Schweiz gefertigt, was die Güterströme verändert (Zeile 47 und 62).		
2	<b>Beschaffungsmanagement</b>			
	Begründung Thomas Gagg	Es braucht ein umfangreiches Know-How um gute Teile mit dem 3D-Drucker zu produzieren. Darum wird der 3D-Druck auch in Zukunft nicht von allen Unternehmungen eingesetzt werden, was bedeutet, dass sich das Beschaffungsmanagement wie bisher entwickelt (Zeile 320).		
	Begründung Niklaus Schultz	Es wird weiterhin ein Beschaffungsmanagement geben. Ebenso wird es weiterhin eine Bedarfsplanung geben. Einfacher wird das Beschaffungswesen dadurch nicht, aber man kann die Abhängigkeiten zu den Lieferanten teilweise reduzieren (Zeile 238).		
	Begründung Ralf Schindel	Der Beschaffung wird nicht unbedingt einfacher. Auch das Pulver für den 3D-Druck hat Eigenschaften, die berücksichtigt werden müssen (Zeile 95).		
3	<b>Produktion</b>			
	Begründung Thomas Gagg	Durch das additive Verfahren können Teile leichter und mit weniger Materialaufwand hergestellt werden (Zeile 356).		
	Begründung Niklaus Schultz	Vor allem komplexe und teurere Teile haben die besten Chancen durch gedruckte Exemplare ersetzt zu werden. Es gibt bereits Beispiele dafür, dass herkömmlich gefertigte Teile durch 3D-Druck-Elemente ersetzt wurden. Wichtig ist es auch, dabei die Kosten über die ganze Lebensdauer eines Teiles zu betrachten (TCO) (Zeile 270).		
	Begründung Ralf Schindel	Die Produktion von Bauteilen wird heute bereits gezielt beeinflusst. Es gibt Beispiele von Bauteilen, welche früher aus mehreren Komponenten bestanden und dank dem 3D-Druck nun nur noch aus einem Element bestehen (Zeile 121).		
4	<b>Lagermanagement</b>			
	Begründung Thomas Gagg	Bauteile werden nur noch auf Kundenbestellung gedruckt und verschickt. Dies trifft vor allem auf spezielle Stücke zu, welche nicht oft benötigt werden. Da mit dem 3D-Druck die Ersatzteile zeitnah gefertigt werden, kann zudem der Alterungsprozess bei einer langen Lagerung umgangen werden. Darum ist diese These realistisch. Die Lagerkapazitäten können damit ebenfalls reduziert werden (Zeile 337).		
	Begründung Niklaus Schultz	Dort wo sich der 3D-Druck etabliert, wird man mit tieferen Lagerbeständen agieren können. Dadurch ist man flexibler und reduziert die Risiken von zu hohen Lagerbeständen (Zeile 253).		

These Nr.	Thema	Antwort Thomas Gagg	Antwort Niklaus Schultz	Antwort Ralf Schindel
	Begründung Ralf Schindel	Im Vergleich zur herkömmlichen Fertigung, wo die benötigte Materialienpalette viel grösser ist, werden für den 3D-Druck nur drei oder vier Pulvermaterialien benötigt. Davon werden jedoch grosse Mengen gebraucht (Zeile 106).		
5	<b>Produktgestaltung</b>			
	Begründung Thomas Gagg	Alles, was bereits in digitaler Form vorliegt, kann ohne grossen Aufwand auf individuelle Wünsche angepasst werden (Zeile 369).		
	Begründung Niklaus Schultz	Der 3D-Druck ist das Mittel für Individualisierung. In Branchen, wo es um teurere Produkte geht, ist der 3D-Druck der Enabler für die Mass Customization. Für günstige Produkte lohnt sich eine Individualisierung durch den 3D-Druck nicht (Zeile 283).		
	Begründung Ralf Schindel	Teile können auch bei grösseren Serien individuell gestaltet werden, so dass jedes Bauteil ein Unikat ist (Zeile 153).		
6	<b>Forschung und Entwicklung</b>			
	Begründung Thomas Gagg	Der 3D-Druck hat gerade in der Forschung und Entwicklung ein sehr grosses Potenzial. Teile können schnell greifbar gemacht werden. Objekte können zusammengebaut werden, was sehr komfortabel ist (Zeile 380).		
	Begründung Niklaus Schultz	Der 3D-Druck ist heute in vielen Branchen bereits der Standard und hat sich auch schon sehr weit etabliert. Es gibt noch immer Branchen, welche für Modelle und Prototypen nicht auf den 3D-Druck zurückgreifen. Dies liegt aber vor allem noch an der fehlenden Digitalisierung in 3D (Zeile 302).		
	Begründung Ralf Schindel	Der 3D-Druck beschleunigt den Prozess der Entwicklung bis zur Produktion. Dies ist aktuell schon der Fall. Der Prototypenbau mit dem 3D-Druck gehört ebenfalls bereits heute zum Standardvorgehen (Zeile 178).		
7	<b>Ersatzteilmanagement</b>			
	Begründung Thomas Gagg	Das Ersatzteilmanagement ist etwas abhängig von der Entwicklung der Technologie und es wird auch zukünftig nicht alles mittels dem 3D-Druck hergestellt werden. Aber dort, wo der 3D-Druck zur Anwendung kommt, werden digitale Ersatzteile die physischen ersetzen (Zeile 391).		
	Begründung Niklaus Schultz	In vielen Bereichen wird das Ersatzteilmanagement bereits so praktiziert und baut sich weiter aus. Es kommt aber auch darauf an, wie stark standardisiert oder wie teuer das Ersatzteil ist. Ist es standardisiert und werden grossen Mengen benötigt, wird es weiterhin eher herkömmlich gefertigt (Zeile 312).		
	Begründung Ralf Schindel	Bei einfachen, wenig komplexen Bauteilen können Ersatzteile direkt gedruckt werden. Bei komplexeren Bauteilen kommt es auf die Qualität, das Know-How und die Hardware an. Nicht jedes Bauteil wird auf jedem Drucker gleich gedruckt (Zeilen 200, 226).		
8	<b>Digitalisierung</b>			
	Begründung Thomas Gagg	Die Wertschöpfungskette wird mit dem 3D-Druck zunehmend digitalisiert. Auch der Erwerb eines digitalen Produkts, welches Zuhause ausgedruckt wird, wird möglich werden (Zeile 404).		



These Nr.	Thema	Antwort Thomas Gagg	Antwort Niklaus Schultz	Antwort Ralf Schindel
	Begründung Niklaus Schultz	Mit der Digitalisierung wird sich die Produktion verlagern. Generell ist die Tendenz dahingehend, dass die Produktion innerhalb der Wertschöpfungskette später erfolgt, also näher beim Kunden liegt (Zeilen 328, 331).		
	Begründung Ralf Schindel	Bei einfachen Bauteilen ist das Selberdrucken kein Problem. Bei komplexen Bauteilen kommt es wiederum auf die Maschinen an. Nicht jeder Drucker kann jedes Bauteil fertigen (Zeilen 219, 226).		
9	Do-It-Yourself			
	Begründung Thomas Gagg	Der 3D-Heimdruck wird möglich sein, jedoch wird der Konsument auch in Zukunft lieber fertige Produkte einkaufen, anstatt sie selber zu drucken (Zeile 420).		
	Begründung Niklaus Schultz	Derjenige, der sich den 3D-Druck als Technologie kauft, wird automatisch zum Produzenten. Dies können Privatpersonen aber auch Unternehmen sein (Zeile 342).		
	Begründung Ralf Schindel	Für Serienprodukte geht dies nicht. Einfache Bauteile können jedoch in der Home-Anwendung gedruckt werden (Zeile 235).		



Zustimmung durch den Experten



Teilweise Zustimmung durch den Experten



Keine Zustimmung durch den Experten

Tabelle 23: Überprüfung der neun Thesen zum 3D-Druck  
Quelle: Eigene Darstellung

Die Experten-Befragung zeigt, dass den meisten, aus den Szenarien entwickelten Thesen, mehrheitlich zugestimmt wird.

Einzig die These zum Beschaffungsmanagement konnte nicht bestätigt werden. Hier liegt der Grund darin, dass das Beschaffungsmanagement, der Einkauf, nicht direkt tangiert wird von der Entwicklung des 3D-Drucks. Anstelle von Halbfabrikaten oder Materialien für die Fertigung müssen Materialien für den 3D-Druck eingekauft werden. Es müssen allenfalls weniger verschiedene Materialien beschafft werden, aber die Planung der Beschaffung und die Bewirtschaftung fällt dadurch nicht weg. Das Beschaffungswesen wird dadurch nicht wesentlich einfacher.

Damit wurden die Thesen überprüft und bestätigt. Die zweite These zum Beschaffungsmanagement kann bei Bedarf in einer Folgearbeit überarbeitet werden.

## 10.6 Auswertung der Kategorie E (Potenziale)

Alle Experten sind sich einig, dass das Ersatzteilmanagement in Zukunft durch den 3D-Druck optimiert werden kann (THG, Zeilen 285, 394). Ebenso sind die Experten der Ansicht, dass der 3D-Druck vor allem im Geschäftsumfeld genutzt werden wird. Eine Verbreitung der 3D-

Drucker im privaten Umfeld wird als wenig realistisch angesehen (THG, Zeile 437 / NIS, Zeile 367). Dies wurde ähnlich im Kapitel 9.1 erwähnt.

Im Baubereich kann der 3D-Druck ebenfalls zur Anwendung kommen, erste Beispiele von gedruckten Häusern bestehen bereits (THG, Zeile 179). Ob Häuser dann effektiv im 3D-Druck-Verfahren gebaut werden oder ob der Bau mittels Robotik erfolgt, das ist abzuwarten (NIS, Zeile 377).

Bereits heute gibt es verschiedene Online-Plattformen, in welchen fertige Objekte als CAD-Datei zur Verfügung gestellt werden (THG, Zeile 272). Solche Plattformen existieren sowohl für Privat- als auch für Geschäftskunden und sind heute bereits ein Markt, wo teilweise auch für die Lösungen bezahlt wird. Die 3D-CAD-Datei besitzt einen Wert und diesen Wert kann auch verkauft werden (NIS, Zeile 209).

Weitere Informationen aus den Experten-Interviews zu den Potenzialen im 3D-Druck können den Interview-Abschriften entnommen werden.

## **10.7 Fazit aus der Überprüfung durch die Experten**

Die Überprüfung der erarbeiteten Thesen hat gezeigt, dass diese mehrheitlich korrekt sind. Die acht bestätigten Thesen werden zukünftig die Wertschöpfungs- und Lieferketten beeinflussen. Die These zum Beschaffungsmanagement zeigt, dass die erarbeiteten Szenarien auch Unschärfen enthalten, was bei der Szenario-Entwicklung üblich ist.

Weiter konnten mit den Experten-Interviews einige Punkte zu den Themen Technologie, Materialien, Anwendungsfelder und zukünftige Potenziale bestätigt werden.

Die Experten-Interviews dauerten jeweils 40 bis 50 Minuten. Innerhalb dieses Zeitrahmens war es nicht möglich, alle in dieser Master-Thesis behandelten Punkte zu verifizieren. Der Fokus wurde auf die Überprüfung der Thesen gelegt. Die Experten-Interviews gaben Einblick in die praktische Welt des 3D-Drucks.

## 11 Abschluss und Fazit

Dieses Kapitel bildet den Abschluss dieser Master-Thesis mit dem Titel "Implikationen und Anwendungspotenziale der additiven Fertigungsmethoden (3D-Druck)" und fasst die erarbeiteten Resultate zusammen. Es folgt eine kritische Hinterfragung der Arbeit sowie Empfehlungen für das weitere Vorgehen für Folgearbeiten.

### 11.1 Zusammenfassung der Erkenntnisse

Die Ergebnisse dieser Master-Thesis zeigen auf, dass der 3D-Druck in Zukunft in verschiedenen Bereichen der Wertschöpfungs- und Lieferketten Veränderungen bewirken wird oder zumindest über das Potenzial dazu verfügt.

Bereits heute gibt es verschiedene 3D-Druck-Technologien und unterschiedliche, verwendbare Materialien. Die Kombination aus der Technologie und den Materialien ergeben wiederum die spezifischen Vor- und Nachteile. Die in dieser Arbeit aufgezeigten Methoden und Materialien verdeutlichen diese Vielfalt.

Anhand der acht, durch Experten-Interviews bestätigten Thesen zeigt sich, dass sich die Wertschöpfungs- und Lieferketten in Zukunft verändern können. Die Anwendung des 3D-Drucks kann bedeuten, dass die bisher ausgelagerte Fertigung zurück in die Schweiz geholt wird, da die Entwicklung und die Produktion näher zusammenrücken. Dadurch muss mehr Rohmaterial zur Produktion und wiederum auch näher zum Kunden transportiert werden. Dies wird zu Veränderungen in den Güterströmen führen und die Logistik und Transportwege beeinflussen.

Ebenso kann sich das Lagermanagement mit dem 3D-Druck verändern. Der 3D-Druck wird es ermöglichen, mit tieferen, konsolidierten Lagerbeständen zu arbeiten. Anstelle der bisherigen Halbfabrikate oder fertigen Bauteile wird das Material für den 3D-Druck, dies können beispielsweise verschiedene Filamente oder Druck-Pulver sein, an Lager gehalten werden. Erst bei Bedarf werden die benötigten Bauteile oder Produkte mittels dem 3D-Druck ausgedruckt.

Der 3D-Druck beeinflusst die Produktion von Bauteilen in Zukunft wie auch teilweise heute schon. Aufgrund der neuen Design-Freiheiten werden gerade komplexe, teurere Bauteile gezielt durch den 3D-Druck optimiert. So können Bauteile, welche bisher aus mehreren Elementen bestanden, heute bereits in einem Stück gefertigt werden. Ausserdem ermöglicht es der 3D-Druck, die Bauteile bezüglich ihres Gewichts und ihrer Form zu optimieren, was sich wiederum auf die Produktgestaltung auswirkt. In diesem Bereich wird es der 3D-Druck zukünftig ermöglichen, Bauteile im Allgemeinen, wie auch in der Serienfertigung, individuell, den Kundenanforderungen entsprechend, zu gestalten.

Bereits heute wird der 3D-Druck praktisch standardmässig bei der Entwicklung neuer Bauteile eingesetzt. Unter dem Begriff des Rapid Prototyping's rücken die Entwicklung und die Produktion näher zusammen. Ideen können zeitnah physisch realisiert und damit auch ausprobiert werden. Auch können einfache 3D-Drucker heute bereits für wenig Geld erworben werden, was die Integration des 3D-Drucks in die eigenen Entwicklungsprozesse vereinfacht.

Eines der wichtigen, zukünftigen Anwendungsgebiete ist die gezielte Bereitstellung von Ersatzteilen aus dem 3D-Drucker. Werden heute Ersatzteile kostspielig an Lager gehalten, können diese in Zukunft möglichst nahe beim Kunden gedruckt und über kurze Distanzen zum Zielort transportiert werden. Damit werden die Wertschöpfungs- und Lieferketten direkt durch den 3D-Druck tangiert und es kommt zu Veränderungen.

Die zunehmende Digitalisierung der Bauteile und Produkte beeinflusst die Wertschöpfungskette. Dank der Digitalisierung kann auch die Produktion möglichst nahe zum Kunden verlagert werden. Ebenso können Bauteile zukünftig online erworben und mit dem eigenen 3D-Drucker hergestellt werden. Dabei ist, vor allem bei komplexen Bauteilen mit erhöhten Anforderungen, auf die Qualität des Druck-Materials und das 3D-Druck-Verfahren zu achten, da nicht jede Hardware, auch mit dem jeweils gleichen 3D-Druck-Verfahren, dieselben Resultate erzielt.

Wer sich einen 3D-Drucker zulegt, wird automatisch zu einem Produzenten. So können einfachere Bauteile in Zukunft auch Zuhause hergestellt werden. Die Experten gehen jedoch davon aus, dass auch in Zukunft nicht in jedem Haushalt ein 3D-Drucker angeschafft wird, trotz der vielen Vorteile. Dazu sind die Hürden bezüglich dem Anwendungs-Know-How zu hoch.

Bereits heute ist der 3D-Druck in vielen Anwendungsbereichen erfolgreich im Einsatz. Mit der fortschreitenden Entwicklung werden weitere Anwendungsbereiche, wie beispielsweise das Drucken von Organen, hinzukommen. Die technologische Entwicklung beinhaltet aber auch neue Gefahren, wie die Beispiele der selbstgedruckten Waffen oder der Aushebelung der Kontrollen am Zoll zeigen.

Der 3D-Druck, respektive die additive Fertigung, wird in Zukunft verstärkt Einfluss nehmen auf die Ausgestaltung der Wertschöpfungs- und Lieferketten. Es wird zu Veränderungen kommen, denn das Anwendungspotenzial dieser Technologie ist sehr gross und vielfältig, wie diese hier vorliegende Arbeit eindrücklich aufzeigt.

## **11.2 Kritische Diskussion**

Grundsätzlich stellt diese hier vorliegende Master-Thesis sehr umfassend das Thema "3D-Druck" dar. Die Arbeit zeigt die wesentlichen Methoden des 3D-Drucks auf, geht auf dessen aktuelle Anwendungsfelder mit verschiedenen Beispielen ein und zeigt zukünftige, mögliche

Auswirkungen auf die Liefer- und Wertschöpfungsketten auf. Zukünftige potenzielle Anwendungsfelder werden beschrieben.

Die erarbeiteten neun Thesen sind anhand von fiktiven Szenarien erarbeitet worden. Die Überprüfung zeigt, dass die Thesen nicht realitätsfremd sind, jedoch teilweise kritisch hinterfragt werden sollten. Um die effektiven Auswirkungen des 3D-Drucks auf Wertschöpfungs- und Lieferketten erfassen zu können, müssten in Zukunft gezielt Unternehmen und deren Prozesse vor und nach der Einführung des 3D-Drucks untersucht werden. Anhand der dort gewonnenen Erkenntnisse lassen sich Rückschlüsse auf die effektiven Auswirkungen und Potenziale des 3D-Drucks ziehen.

Mittels drei Experten-Interviews wurden die erarbeiteten Thesen überprüft. Acht der neun Thesen konnten dabei bestätigt werden. Einzig die These zum Beschaffungsmanagement wurde widerlegt. In diesem Bereich wird der 3D-Druck zwar Veränderungen bringen, das Beschaffungsmanagement wird aber weiterhin in ähnlichem Umfang bestehen bleiben. Bei den Interviews konnten ausserdem einige der in der Master-Thesis beschriebenen Punkte bestätigt werden. Zusätzlich gaben die Interviews einen Einblick in verschiedene Bereiche des 3D-Drucks, von der Heim-Anwendung bis hin zur industriellen Fertigung. Für eine weitere Arbeit zu diesem Thema wird empfohlen, die Interviews früher einzuplanen, da dabei einige sehr interessante Aspekte besprochen wurden.

Die Entwicklung von Szenarien sollte im Allgemeinen durch mehrere Personen erfolgen. Damit können die Einflussfaktoren umfassender erfasst werden. Auch wenig bekannte, aber allenfalls doch relevante Einflussbereiche können bei einem grösseren Szenario-Team identifiziert und in die Bewertung miteinbezogen werden. Ebenso ist der ganze Entwicklungs-Prozess für die Szenarien bei mehreren Personen breiter abgestützt und deckt somit ein grösseres Spektrum ab. Generell ist es sehr schwer, Szenarien zu entwickeln, wenn nur wenige Personen involviert sind, da die Szenario-Entwicklung ein kreativer Prozess ist (Fink & Siebe, 2016, S. 75).

Insgesamt konnten alle drei Forschungsfragen beantwortet und die Ergebnisse ausgewiesen werden. Die drei definierte Unterforschungsfragen wurden innerhalb des Textes behandelt und beantwortet, es wurde jedoch nicht explizit darauf verwiesen. Damit konnte der Auftrag dieser Master-Thesis vollständig erfüllt werden.

### **11.3 Empfehlung für das weitere Vorgehen**

Das Thema des 3D-Drucks unterliegt laufenden Veränderungen. Die Entwicklung schreitet stetig voran. So wurden innerhalb der neun Monate, seit Beginn der Vorstudie zu dieser Master-Thesis und bis zu deren Abschluss, einige neue Informationen publik. Der 3D-Druck war dementsprechend immer wieder in den Medien präsent.

Für das weitere Vorgehen wird empfohlen, die in dieser Master-Thesis erarbeiteten Thesen weiter auszuarbeiten und mittels weiteren Experten-Interviews und Literatur-Recherchen zu vertiefen. Eine weitere Option ist, die verschiedenen Anwendungsfelder dahingehend genauer zu untersuchen, in welchen Bereichen der 3D-Druck bereits heute verwendet wird und wie gross das weitere Potenzial für die Anwendung bei ausgewählten Unternehmen effektiv ist.

Eine weitere Möglichkeit für eine weiterführende Arbeit ist eine Inhalts-Analyse aktueller und vergangener Artikel in einer ausgewählten, klar abgegrenzten Fachliteratur. Dabei können die Artikel kategorisiert werden, beispielsweise nach Branche, Methode, Anwendungsfall. Anhand dieser Kategorisierung und deren Auswertung können Entwicklungsschritte innerhalb der Branche und auch die Relevanz des 3D-Drucks in den Anwendungsfeldern dargestellt werden. Befassen sich beispielsweise viele Artikel über den 3D-Druck im Gesundheitswesen, können im Vergleich zu anderen Branchen Rückschlüsse über die Entwicklung und den zukünftigen Einsatz des 3D-Drucks in diesem Bereich gezogen werden.

## Anhang und Verzeichnisse

### Abkürzungsverzeichnis

3D-Druck	Additive Fertigungsverfahren
FHSG	Fachhochschule St. Gallen
MATH	Master-Thesis
MSc	Master of Science
ZHaW	Zürcher Hochschule für angewandte Wissenschaften

### Literaturverzeichnis

3D Activation AG. (2017). *Fünf vermeidbare Fehler in der 3D-Konstruktion*. Abgerufen am 10. April 2017 von 3D Activation: <http://www.3d-activation.ch/der-3d-druck-blog/5-vermeidbare-fehler-in-der-3d-konstruktion/>

3D Natives. (24. Oktober 2016). *Liquid Factory: Reebok-Schuhe mit 3D-Design*. Abgerufen am 6. März 2017 von 3D Natives: <http://www.3dnatives.com/de/liquid-factory-reebok-241020161/>

3D Systems. (4. März 2014). *3D Systems Founder Chuck Hull to be Inducted into the National Inventors Hall of Fame*. Abgerufen am 20. Februar 2017 von 3D Systems: <http://www.3dsystems.com/press-releases/3d-systems-founder-chuck-hull-be-inducted-national-inventors-hall-fame>

3DPrint.com. (18. Juni 2015). *3D Printable Files for Cody Wilson's Liberator Gun are Now Available to All on 3DShare*. Abgerufen am 17. April 2017 von 3D Print: <https://3dprint.com/73842/download-3d-printed-gun/>

Abbey-Obaro, P. (12. Juli 2017). *In diesem Restaurant kommt nicht nur das Essen aus dem 3D-Drucker*. Abgerufen am 23. April 2017 von Wired.de: <https://www.wired.de/collection/life/diesem-restaurant-kommt-nicht-nur-das-essen-aus-dem-3d-drucker>

Adidas. (7. Oktober 2015). *Adidas Breaks the Mold with 3D-Printed Performance Footwear*. Abgerufen am 6. März 2017 von Adidas News Stream: <http://news.adidas.com/GLOBAL/Latest-News/RUNNING/adidas-breaks-the-mold-with-3d-printed-performance-footwear/s/8099a318-f9e7-45d8-9887-42c3dde5e6fd>

- Adidas AG. (2017). *Adidas Geschäftsbericht 2016*. Abgerufen am 20. März 2017 von Adidas Group: [http://www.adidas-group.com/media/filer\\_public/e6/eb/e6eb2815-d7d1-4318-8930-0a0e7f57aafe/2016\\_deu\\_gb.pdf](http://www.adidas-group.com/media/filer_public/e6/eb/e6eb2815-d7d1-4318-8930-0a0e7f57aafe/2016_deu_gb.pdf)
- Adidas Group. (2015). *Sustainability Progress Report*. Abgerufen am 20. März 2017 von Adidas Group: [http://www.adidas-group.com/media/filer\\_public/9c/f3/9cf3db44-b703-4cd0-98c5-28413f272aac/2015\\_sustainability\\_progress\\_report.pdf](http://www.adidas-group.com/media/filer_public/9c/f3/9cf3db44-b703-4cd0-98c5-28413f272aac/2015_sustainability_progress_report.pdf)
- Adidas Group. (2017). *Aufbau der Beschaffungskette*. Abgerufen am 20. März 2017 von Adidas Group: <http://www.adidas-group.com/de/nachhaltigkeit/compliance/aufbau-der-beschaffungskette/>
- Adidas Group. (2017). *Umgang mit unserer Beschaffungskette*. Abgerufen am 20. März 2017 von Adidas Group: <http://www.adidas-group.com/de/nachhaltigkeit/compliance/umgang-mit-unserer-beschaffungskette/#/working-with-suppliers/>
- AEB. (15. Oktober 2014). *AEB White Paper: Sechs Thesen, wie der 3D-Druck die Logistik verändert*. Abgerufen am 17. April 2017 von AEB: <http://documents.aeb.com/brochures/de/aeb-white-paper-3d-druck.pdf>
- Aluminium-Verband Schweiz. (2017). *Herstellung von Aluminium*. Abgerufen am 15. Mai 2017 von Aluminium-Verband Schweiz: <http://alu.ch/werkstoff/herstellung/>
- Atzeni, E., & Salmi, A. (8. Februar 2012). Economics of additive manufacturing for end-usable metal parts. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, S. 1147-1155. Abgerufen am 27. März 2017 von <http://link.springer.com/article/10.1007/s00170-011-3878-1>
- Bab. (9. Juni 2016). *Transplantationsmedizin - Niere aus dem 3D-Drucker funktioniert*. Abgerufen am 24. April 2017 von Gesundheitsstadt Berlin: <https://www.gesundheitsstadt-berlin.de/niere-aus-dem-3d-drucker-funktioniert-10468/>
- Berger, G. (8. November 2013). *Die Metall-Pistole aus dem 3-D-Drucker*. Abgerufen am 17. April 2017 von Radio SRF: <https://www.srf.ch/radio-srf-3/digital/die-metall-pistole-aus-dem-3-d-drucker>
- Bexten, J. (27. Mai 2016). *Das erste Bürogebäude aus dem 3D-Drucker steht in Dubai*. Abgerufen am 5. März 2017 von Ingenieur.de: <http://www.ingenieur.de/Themen/3D-Druck/Das-Buerogebaeude-3D-Drucker-steht-in-Dubai>
- Bilanz - Das Schweizer Wirtschaftsmagazin. (6. August 2014). *Wie 3D-Druck die Welt revolutioniert*. *Bilanz - Das Schweizer Wirtschaftsmagazin*. Abgerufen am 4.



- November 2016 von <http://www.bilanz.ch/unternehmen/wie-3d-druck-die-welt-revolutioniert-374959>
- Bilanz - Das Schweizer Wirtschaftsmagazin. (27. Juni 2016). *3D-Druck: Ein Geschäft mit Potenzial*. Abgerufen am 17. April 2017 von Bilanz - Das Schweizer Wirtschaftsmagazin: <http://www.bilanz.ch/unternehmen/3d-druck-ein-geschaeft-mit-potenzial-664935>
- BMW Group. (13. Juli 2016). *Serienbauteile aus dem 3D-Drucker: BMW Group baut den Einsatz additiver Fertigungsverfahren weiter aus*. Abgerufen am 4. März 2017 von BMW Group: <https://www.press.bmwgroup.com/deutschland/article/detail/T0261924DE/serienbauteile-aus-dem-3d-drucker:-bmw-group-baut-den-einsatz-additiver-fertigungsverfahren-weiter-aus?language=de>
- Breuer, H. (19. August 2016). *3D-Druck: Die Print-on-Demand-Manufaktur*. Abgerufen am 26. April 2017 von Siemens - Pictures of the Future - Das Magazin für Forschung und Innovation: <https://www.siemens.com/innovation/de/home/pictures-of-the-future/industrie-und-automatisierung/3d-druck-ersatzteile-fuer-zuege.html>
- Breuninger, J., Becker, R., Wolf, A., Rommel, S., & Verl, A. (2013). *Generative Fertigung mit Kunststoffen - Konzeption und Konstruktion für Selektives Lasersintern*. Berlin: Springer Vieweg.
- Cohen, D., Sargeant, M., & Somers, K. (Januar 2014). *3-D printing takes shape*. Abgerufen am 11. April 2017 von McKinsey Quarterly - McKinsey&Company: <http://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/3-d-printing-takes-shape>
- Cookson Precious Metals Ltd. (2015). *Direct Metal 3D Printing for the Jewellery and Watchmaking Industries*. Abgerufen am 6. März 2017 von Cooksongold: <http://www.cooksongold-emanufacturing.com/gallery.php>
- Cotteleer, M., & Joyce, J. (17. Januar 2014). *3D opportunity: Additive manufacturing paths to performance, innovation, and growth*. Abgerufen am 10. April 2017 von Deloitte University Press: <https://dupress.deloitte.com/dup-us-en/deloitte-review/issue-14/dr14-3d-opportunity.html>
- Curran, C., & Baya, V. (19. August 2016). *The road ahead for 3D printing*. Abgerufen am 27. März 2017 von PwC: <http://usblogs.pwc.com/emerging-technology/the-road-ahead-for-3d-printing/>

- Daimler. (13. Juli 2016). *Mercedes-Benz LKW setzt wegweisende Zukunftstechnologie ein: 3D-Druck: LKW-Ersatzteile „on demand“ lieferbar*. Abgerufen am 26. April 2017 von Daimler - Global Media Site:  
<http://media.daimler.com/marsMediaSite/de/instance/ko/Mercedes-Benz-Lkw-setzt-wegweisende-Zukunftstechnologie-ein-3D-Druck-Lkw-Ersatzteile-on-demand-lieferbar.xhtml?oid=12788778>
- DHL Trend Research. (November 2016). *3D printing and the future of Supply Chains*. Abgerufen am 26. April 2017 von DHL Trend Reports:  
[http://www.dhl.com/en/about\\_us/logistics\\_insights/dhl\\_trend\\_research/3d\\_printing.html](http://www.dhl.com/en/about_us/logistics_insights/dhl_trend_research/3d_printing.html)
- Digitec.ch. (25. Februar 2017). *Zortrax M200 3D-Drucker*. Abgerufen am 25. Februar 2017 von Digitec.ch: <https://www.digitec.ch/de/s1/product/zortrax-m200-3d-drucker-5920742>
- DMCC. (2016). *The Future Of Trade*. (DMCC, Herausgeber) Abgerufen am 23. Oktober 2016 von The Trends Shaping The Future of Trade: <http://futureoftrade.ae/>
- eBay. (2017). *SIGG Thermosflasche 0.3 L*. Abgerufen am 12. April 2017 von eBay:  
<http://www.ebay.de/itm/SIGG-Thermosflasche-Thermo-Flasche-0-3-L-Isolierflasche-Trinkflasche-Hot-amp-Cold-/121678759712>
- EOS e-Manufacturing Solutions. (2015). *Medizin: Alphaform - Produktion eines Hüftimplantats mit Additiver Fertigung*. Abgerufen am 6. März 2017 von EOS e-Manufacturing Solutions:  
[https://www.eos.info/presse/kundenreferenzen/Hueftimplantat\\_additiv\\_gefertigt](https://www.eos.info/presse/kundenreferenzen/Hueftimplantat_additiv_gefertigt)
- European Space Agency. (Ohne Datum). *ESA testet 3D-Drucker für den Bau einer Mondbasis*. Abgerufen am 22. April 2017 von European Space Agency:  
[http://www.esa.int/ger/ESA\\_in\\_your\\_country/Germany/ESA\\_testet\\_3D-Drucker\\_fuer\\_den\\_Bau\\_einer\\_Mondbasis](http://www.esa.int/ger/ESA_in_your_country/Germany/ESA_testet_3D-Drucker_fuer_den_Bau_einer_Mondbasis)
- Fastermann, P. (2012). *3D-Druck / Rapid Prototyping - Eine Zukunftstechnologie kompakt erklärt*. Heidelberg: Springer Vieweg.
- Fastermann, P. (2014). *3D-Drucken - Wie generative Fertigungstechnik funktioniert*. Berlin: Springer Vieweg.
- Fastermann, P. (2016). *Nachhaltigkeit – 3D-Druck als umweltfreundliche Technologie?* Berlin: Springer-Verlag. Abgerufen am 10. April 2017 von  
[http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-662-49866-8\\_15](http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-662-49866-8_15)

- Fastermann, P. (2017). 3D-Druck: eine nachhaltige und Energieeffizienz fördernde Technologie. In F. J. Matzen, & R. Tesch, *Industrielle Energiestrategie* (S. 301-316). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden. Abgerufen am 10. April 2017 von [http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-658-07606-1\\_16](http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-658-07606-1_16)
- Fastermann, P. (2017). *3D-Drucken oder mit der CNC-Maschine arbeiten?* Abgerufen am 3. März 2017 von 3D Print News: <http://www.3d-print-news.de/kolumne-von-petra-fastermann/3d-drucken-oder-mit-der-cnc-maschine-arbeiten/>
- Feldmann, C., & Pompe, A. (2016). *3D-Druck - Verfahrensauswahl und Wirtschaftlichkeit - Entscheidungsunterstützung für Unternehmen*. Wiesbaden: Springer Gabler.
- Ferdinand, J.-P., Flämig, H., Petschow, U., Steinfeldt, M., & Worobei, A. (2016). Assessing the Environmental Impact of Decentralized Value-Chain Patterns Involving 3D Printing Technologies - A Comparative Case Study. In J.-P. Ferdinand, U. Petschow, & S. Dickel, *The Decentralized and Networked Future of Value Creation - 3D Printing and its Implications for Society, Industry, and Sustainable Development* (S. 205-235). Switzerland: Springer International Publishing. Abgerufen am 27. März 2017 von [http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-31686-4\\_11](http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-31686-4_11)
- Fink, A., & Siebe, A. (2016). *Szenario-Management - Vom strategischen Vorausdenken zu zukunftsrobusten Entscheidungen*. Frankfurt: Campus Verlag.
- Gartner Inc. (2007). *Hype Cycle for Emerging Technologies, 2007*. Abgerufen am 4. November 2016 von <https://www.gartner.com/doc/509710/hype-cycle-emerging-technologies->
- Gartner Inc. (25. August 2015). *Gartner Says Medical Applications Are Leading Advancement in 3D Printing*. Abgerufen am 24. Oktober 2016 von <http://www.gartner.com/newsroom/id/3117917>
- GeLa Verlag für Luftfahrttechnik. (01. März 2017). *Information - 3D-Druck von Flugzeugteilen*. Abgerufen am 5. März 2017 von Verlag für Luftfahrttechnik: <http://gela-luftfahrtverlag.de/information-3d-druck-von-flugzeugteilen/>
- Gibson, I., Rosen, D., & Stucker, B. (2015). *Additive Manufacturing Technologies - 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturin* (2. Ausg.). New York: Springer.
- Giet, S. (22. Oktober 2014). *Can 3D Printing make Economical Auto Parts?* Abgerufen am 4. März 2017 von Engineering.com: [http://www.engineering.com/3DPrinting/3DPrintingArticles/ArticleID/8765/Can-3D-Printing-make-Economical-Auto-Parts.aspx?e\\_src=relart](http://www.engineering.com/3DPrinting/3DPrintingArticles/ArticleID/8765/Can-3D-Printing-make-Economical-Auto-Parts.aspx?e_src=relart)

- Giffi, C. A., Gangula, B., & Illinda, P. (2014). *3D opportunity in the automotive industry - Additive manufacturing hits the road*. Abgerufen am 4. März 2017 von Deloitte Development LLC: [https://dupress.deloitte.com/content/dam/dup-us-en/articles/additive-manufacturing-3d-opportunity-in-automotive/DUP\\_707-3D-Opportunity-Auto-Industry\\_MASTER.pdf](https://dupress.deloitte.com/content/dam/dup-us-en/articles/additive-manufacturing-3d-opportunity-in-automotive/DUP_707-3D-Opportunity-Auto-Industry_MASTER.pdf)
- Gosselin, C., Duballet, R., Roux, P., Gaudillière, N., Dirrenberger, J., & Morel, P. (15. Juni 2016). Large-scale 3D printing of ultra-high performance concrete – A new processing route for architects and builders. *Materials & Design*, S. 102-109. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2016.03.097>
- Greenberg, A. (5. Mai 2013). *Meet The 'Liberator': Test-Firing The World's First Fully 3D-Printed Gun*. Abgerufen am 17. April 2017 von Forbes: <https://www.forbes.com/sites/andygreenberg/2013/05/05/meet-the-liberator-test-firing-the-worlds-first-fully-3d-printed-gun/#4bcb612f52d7>
- Hagl, R. (2015). *Das 3D-Druck-Kompendium - Leitfaden für Unternehmer, Berater und Innovationstreiber*. Wiesbaden: Springer Gabler.
- HanCon. (2017). *3D-Druck-Verfahren/Prozess - 3D-Druck Verfahren, Technologien und Prozess*. Abgerufen am 21. Februar 2017 von HanCon 3D-Druckberatung: <http://www.hancon.ch/3d-druck-was-ist-das/>
- Hevner, A., March, S., Park, J., & Ram, S. (2004). Design Science in Information System Research. *MIS Quarterly*(Vol. 28 No.1), S. 75-105.
- Hoffmann, C. (30. Januar 2016). *3-D-Druck – Evolution statt Revolution*. Abgerufen am 5. März 2017 von Scitec-Media: <http://scitec-media.ch/2016/01/30/3-d-druck-evolution-statt-revolution/>
- Hofmann, E., & Oettmeier, K. (Februar 2016). 3-D-Druck - Wie additive Fertigungsverfahren die Wirtschaft und deren Supply Chains revolutionieren. *zfo - Zeitschrift Führung und Organisation*, S. 84-90. Abgerufen am 4. November 2016 von [http://www.zfo.de/?mod=docDetail&docID=3324\\_12](http://www.zfo.de/?mod=docDetail&docID=3324_12)
- Holweg, M., Baumers, M., & Rowley, J. (Dezember 2015). *The economics of 3D Printing: A total cost perspective*. Abgerufen am 11. April 2017 von Said Business School, Oxford: <http://www.sbs.ox.ac.uk/faculty-research/research-projects/total-cost-model-3d-printing>
- Horsch, F. (2014). *3D-Druck für alle - Der Do-It Yourself Guide*. München: Carl Hanser Verlag.

- Hubscher, B. (25. November 2014). *Open for Business: 3-D Printer Creates First Object in Space on International Space Station*. Abgerufen am 22. April 2017 von NASA: <https://www.nasa.gov/content/open-for-business-3-d-printer-creates-first-object-in-space-on-international-space-station>
- Kellner, T. (17. April 2017). *Have A Heart: New Software Could 3D Print Organ Replicas On Demand*. Abgerufen am 23. April 2017 von GE Reports: <http://www.gereports.com/heart-new-software-3d-print-organ-replicas-demand/>
- Kolossos. (22. Juli 2016). *Fused Deposition Modeling*. Abgerufen am 25. Februar 2017 von Wikipedia: [https://de.wikipedia.org/wiki/Fused\\_Deposition\\_Modeling](https://de.wikipedia.org/wiki/Fused_Deposition_Modeling)
- König, P. (11. Februar 2015). *Überblick: So arbeiten 3D-Drucker*. Abgerufen am 25. Februar 2017 von Heise online: <https://www.heise.de/make/artikel/So-arbeiten-3D-Drucker-2545696.html>
- Kronmeier, M. (2007). *Wissenschaftstheorie und wissenschaftliches Arbeiten - Eine Einführung für Wirtschaftswissenschaftler*. Heidelberg: Physica-Verlag.
- Lachmayer, R., Lippert, R., & Fahlbusch, T. (2016). *3D-Druck beleuchtet - Additive Manufacturing auf dem Weg in die Anwendung*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Leichtbau BW GmbH - Landesagentur für Leichtbau Baden-Württemberg. (2015). *Additive Manufacturing im Leichtbau - Strategische und Betriebswirtschaftliche Herausforderungen und Perspektiven*. Abgerufen am 11. April 2017 von Leichtbau Baden-Württemberg: [http://www.leichtbau-bw.de/fileadmin/user\\_upload/Downloads/RZ\\_LeichtbauBW\\_Studie\\_Additive\\_Manufacturing\\_web.pdf](http://www.leichtbau-bw.de/fileadmin/user_upload/Downloads/RZ_LeichtbauBW_Studie_Additive_Manufacturing_web.pdf)
- Lipson, H., & Kurman, M. (2013). *Fabricated - The New World of 3D Printing*. Indianapolis, Indiana: John Wiley & Sons.
- Magazin 3D-Druck. (2017). *Druckgeschwindigkeit*. Abgerufen am 10. April 2017 von Magazin 3D-Druck - Online Portal rund ums Thema 3D-Druck: <http://www.magazin-3d-druck.de/lexikon/druckgeschwindigkeit/>
- Mattke, S. (14. Oktober 2015). *Airbus A350: mit gedruckten 3D-Metallteilen eine Tonne Gewicht einsparen*. Abgerufen am 5. März 2017 von heise online: <https://www.heise.de/newsticker/meldung/Airbus-A350-mit-gedruckten-3D-Metallteilen-eine-Tonne-Gewicht-einsparen-2844080.html?hg=1&hgi=13&hgf=false>

- Meisinger, J. (2016). *3D-Druck vom Baumkuchen bis Bioprinting: Technologieüberblick und Bewertung von Zukunftsaussichten*. Norderstedt: GRIN Verlag, Open Publishing GmbH.
- Mohr, S., & Kahn, O. (August 2015). 3D Printing and the Supply Chains of the Future. (H. I. (HICL), Hrsg.) *Innovations and Strategies for Logistics and Supply Chains*, S. 146-174.
- Molitch-Hou, M. (6. Mai 2014). *FDM 3D Printing Inventor Scott Crump Enters Minnesota Inventors Hall of Fame*. Abgerufen am 25. Februar 2017 von 3D Printing Industry: <https://3dprintingindustry.com/news/fdm-3d-printing-inventor-scott-crump-enters-minnesota-inventors-hall-fame-26876/>
- Nägeli, C. (5. Dezember 2013). *Smartphone wird zum 3D-Scanner*. Abgerufen am 21. Februar 2017 von ETH Zürich: <https://www.ethz.ch/de/news-und-veranstaltungen/eth-news/news/2013/12/smartphone-wird-3d-scanner.html>
- NASA. (22. Dezember 2014). *Space Station 3-D Printer Builds Ratchet Wrench To Complete First Phase Of Operations*. Abgerufen am 22. April 2017 von NASA: [https://www.nasa.gov/mission\\_pages/station/research/news/3Dratchet\\_wrench](https://www.nasa.gov/mission_pages/station/research/news/3Dratchet_wrench)
- Nickel, E. (2015). *Die Auswirkungen von 3D-Druck auf die Logistik*. Grin Verlag, Open Publishing GmbH.
- Niederer, A. (20. Mai 2016). *3D-Drucker in der Medizin - Bio-Tinte für neue Organe*. Abgerufen am 6. März 2017 von Neue Zürcher Zeitung: <https://www.nzz.ch/wissenschaft/medizin/3d-drucker-in-der-medizin-bio-tinte-fuer-neue-organe-ld.83554>
- Nock, Y. (27. November 2013). *Waffen aus dem 3D-Drucker: Flughäfen rüsten auf*. Abgerufen am 17. April 2017 von Schweiz am Wochenende: <https://www.schweizamwochenende.ch/nachrichten/waffen-aus-dem-3d-drucker-flughaefen-ruesten-auf-131052356>
- O Laplume, A., Petersen, B., & Pearce, J. M. (Juni 2016). Global value chains from a 3D printing perspective. *Journal of International Business Studies*(47), S. 595-609. doi:<http://link.springer.com/article/10.1057/jibs.2015.47>
- Österle, H., Becker, J., Frank, U., Hess, T., Karagiannis, D., Krcmar, H., . . . Sinz, E. J. (Juni 2010). Memorandum zur gestaltungsorientierten Wirtschaftsinformatik. *Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung* (Nr. 62), S. 664-672. Abgerufen am 19. Februar 2017 von <http://memo.iwi.unisg.ch/fileadmin/docs/zfbf.pdf>

- Park, J. H., Jang, J., Lee, J.-S., & Cho, D.-W. (Dezember 2016). Current advances in three-dimensional tissue/organ printing. *Tissue Engineering and Regenerative Medicine*, S. 612-621. Abgerufen am 11. April 2017 von <http://link.springer.com/article/10.1007/s13770-016-8111-8>
- Pooler, M. (17. März 2016). *3D printing adds new time-telling dimension*. Abgerufen am 6. März 2017 von swissinfo.ch: [http://www.swissinfo.ch/eng/watches---jewelry\\_3d-printing-adds-new-time-telling-dimension/42027746](http://www.swissinfo.ch/eng/watches---jewelry_3d-printing-adds-new-time-telling-dimension/42027746)
- Porter, M. E. (2004). *Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance*. New York: Simon & Schuster.
- Rapidobject. (2015). *3D Druckanwendung - Architekturmodelle*. Abgerufen am 5. März 2017 von Rapidobject - Ideen zum Anfassen: [https://www.rapidobject.com/de/3D-Druck--Anwendungen/Architekturmodelle\\_1233.html](https://www.rapidobject.com/de/3D-Druck--Anwendungen/Architekturmodelle_1233.html)
- Razat, G., Prashant, B., & Madhav, D. (2015). *Supply Chain for Dummies*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Schmale, O. (2. Februar 2017). *Der Knochen aus dem Drucker hält besser*. Abgerufen am 26. April 2017 von Frankfurter Allgemeine Zeitung FAZ: <http://www.faz.net/aktuell/beruf-chance/die-gruender/medizinische-ersatzteile-aus-dem-3-d-drucker-halten-besser-14852486.html>
- Schmid, M. (2015). *Additive Fertigung mit Selektivem Lasersintern (SLS) - Prozess- und Werkstoffüberblick*. Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Schmidt, T. (2016). *Potentialbewertung generativer Fertigungsverfahren für Leichtbauteile*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag. Abgerufen am 10. April 2017 von [http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-662-52996-6\\_3](http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-662-52996-6_3)
- Sculpteo. (2016). *State of 3D Printing 2016 - Sculpteo's 2nd annual report on 3D Printing and Digital Manufacturing*. Abgerufen am 7. März 2017 von Sculpteo: [https://www.sculpteo.com/en/get/report/state\\_of\\_3D\\_printing\\_2016/](https://www.sculpteo.com/en/get/report/state_of_3D_printing_2016/)
- Siegal, N. (5. November 2014). *Watchmakers Turn to 3-D Printing*. Abgerufen am 6. März 2017 von The New York Times: <https://www.nytimes.com/2014/11/06/fashion/watchmakers-turn-to-3-d-printing.html>
- Siemens AG. (6. Februar 2017). *Durchbruch mit 3D-Drucker*. Abgerufen am 6. März 2017 von Siemens AG: <https://www.siemens.com/innovation/de/home/pictures-of-the-future/industrie-und-automatisierung/3d-druck-gasturbinenschaufeln.html>

- Sievers, I. (28. November 2016). *3D Printing – Eine neue Ära in der Produktion*. Abgerufen am 5. März 2017 von HWZ - Center for Digital Business: <http://www.hwzdigital.ch/3d-printing-eine-neue-aera-in-der-produktion/>
- Solberg, S. (2016). *Cost-Efficient Low-Volume Production Through Additive Manufacturing*. Universität Stavanger, Department of Industrial Economics, Risk Management and Planning. 15. Juni. Abgerufen am 4. März 2017
- Sonnet, C. (10. Oktober 2013). *3D-Druck schafft Arbeitsplätze - Die Druckerkolonne*. Abgerufen am 25. April 2017 von Handelsblatt: <http://www.handelsblatt.com/unternehmen/beruf-und-buero/buero-special/3d-druck-schafft-arbeitsplaetze-die-druckerkolonne/8985890.html>
- Sonova. (2016). *3D-Druck für besseres Hören*. Abgerufen am 25. Oktober 2016 von <http://www.sonova.com/de/features/3d-druck-fuer-besseres-hoeren>
- SRF Einstein. (15. Januar 2015). *Smooth-Food – Gutes Essen aus dem Drucker*. Abgerufen am 22. April 2017 von SRF: <https://www.srf.ch/play/tv/einstein/video/smooth-food---gutes-essen-aus-dem-drucker?id=e8212d36-17d3-4051-9ecb-df07f0799ec5>
- StataSys LTD. (18. November 2014). *Revolutionary New Electric Car Built and Tested in One Year with Objet1000 Multi-material 3D Production System*. Abgerufen am 10. April 2017 von StataSys LTD.: <http://blog.stratasys.com/de/2014/11/18/revolutionares-neues-elektroauto-innerhalb-eines-jahres-gebaut-und-getestet-dank-dem-multimaterial-3d-produktionssystem-objet1000/>
- Stelzer, D., Heinrich, L. J., & Riedl, R. (2014). *Informationsmanagement: Grundlagen, Aufgaben, Methoden*. De Gruyter: Oldenburg.
- Stölzle, W., Hofmann, E., & Oettmeier, K. (2016). Insights: Auswirkungen der additiven Fertigung («3D-Druck») auf das Supply Chain Management. (G. Schweiz, Hrsg.) *Logistikmarktstudie Schweiz*, S. 155-177.
- Stratasys. (2015). *Direct Digital Manufacturing at BMW - Manufacturing Jigs and Fixtures with FDM*. Abgerufen am 4. März 2017 von Stratasys: <http://www.stratasys.com/resources/case-studies/automotive/bmw>
- Stratasys. (2017). *Materialien*. Abgerufen am 28. Februar 2017 von Stratasys: <http://www.stratasys.com/de/materialien>
- Swiss FabLabs. (2017). *Capabilities*. Abgerufen am 27. März 2017 von Swiss FabLabs: <https://fablabs.ch/#/machine>



Swiss FabLabs. (2017). *Swiss FabLabs*. Abgerufen am 11. April 2017 von Swiss FabLabs: <https://fablabs.ch/#/map>

Swiss Life Impopulse. (2015). *Hausbau: Druckst du schon oder baust du noch?* Abgerufen am 5. März 2017 von Swiss Life: <http://impopulse.swisslife.ch/de/hausbau-druckst-du-schon-oder-baust-du-noch/>

Swiss Medtech Report. (2012). *Additive Manufacturing – The Magic Formula For Success*. Bern: Medtech Switzerland.

The Economist. (21. April 2012). *A third industrial revolution*. Abgerufen am 27. März 2017 von The Economist: <http://www.economist.com/node/21552901#sthash.4k3i4BKZ.dpbs>,

The Economist. (14. Januar 2017). *Adidas's high-tech factory brings production back to Germany - Making trainers with robots and 3D printers*. Abgerufen am 6. März 2017 von The Economist: <http://www.economist.com/news/business/21714394-making-trainers-robots-and-3d-printers-adidass-high-tech-factory-brings-production-back>

The Huffington Post. (10. Oktober 2013). *Behold, A 3D Printed Sculpture Of Van Gogh's 'Sunflowers'*. Abgerufen am 6. März 2017 von The Huffington Post: [http://www.huffingtonpost.com/2013/10/11/3d-sculpture-sunflowers\\_n\\_4079360.html](http://www.huffingtonpost.com/2013/10/11/3d-sculpture-sunflowers_n_4079360.html)

Thingiverse.com. (2017). *Thingiverse.com*. Abgerufen am 23. April 2017 von Thingiverse.com: <http://www.thingiverse.com/explore/featured>

Universitätsspital Basel. (27. Mai 2016). *3D-Druck erleichtert Entfernung eines Tumors aus dem Herzen*. Abgerufen am 6. März 2017 von Universitätsspital Basel: <https://www.unispital-basel.ch/medien/mediencommuniques/detail/article/2016/05/27/3d-druck-erleichtert-entfernung-eines-tumors-aus-dem-herzen/>

UPS Inc. (2016. Mai 2016). *UPS To Launch On-Demand 3D Printing Manufacturing Network*. Abgerufen am 9. April 2017 von UPS Pressroom: <https://www.pressroom.ups.com/pressroom/ContentDetailsViewer.page?ConceptType=PressReleases&id=1463510444185-310>

von Reibnitz, U. (1992). *Szenario Technik - Instrumente für die unternehmerische und persönliche Erfolgsplanung*. Wiesbaden: Springer Fachmedien.

Vonmont, A. (15. Mai 2015). *Delikatessen aus dem 3D-Drucker schon bald in aller Munde?* Abgerufen am 23. April 2017 von SRF:

<https://www.srf.ch/wissen/technik/delikatessen-aus-dem-3d-drucker-schon-bald-in-aller-munde>

Voxeljet. (2017). *VX4000 - Weltgrösster industrieller 3D-Drucker*. Abgerufen am 26. Februar 2017 von Voxeljet: <http://www.voxeljet.com/de/3d-drucksysteme/vx4000/>

Wikipedia. (1. April 2017). *Silikone*. Abgerufen am 12. April 2017 von Wikipedia: <https://de.wikipedia.org/wiki/Silikone>

Wöhrle, T. (Dezember 2015). *Automotive: MAN erforscht Ersatzteilproduktion im 3D-Druck*. Abgerufen am 26. April 2017 von Logistik Heute: <http://www.logistik-heute.de/Logistik-Magazin-LOGISITK-HEUTE/Artikel/Magazin-Ausgabe-12-2015/14302/Automotive-MAN-erforscht-Ersatzteilproduktion-im-3D-Druck>

Wortmann, F. (2006). *Entwicklung einer Methode für die unternehmensweite Autorisierung - Dissertation*. St. Gallen: Universität St. Gallen.

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Gartner Hype Cycle 2015 zum Thema 3D-Druck .....	2
Abbildung 2: Betroffene Anwendungsfelder .....	5
Abbildung 3: Information System Research Framework .....	8
Abbildung 4: Phasen im Erkenntnisprozess .....	9
Abbildung 5: Forschungs-Design .....	10
Abbildung 6: Vorgehensmodell zur Fertigung mittels 3D-Druck .....	18
Abbildung 7: Darstellung eines Zortax M200 3D-Druckers .....	19
Abbildung 8: Schematische Darstellung der Stereolithografie und dessen Fortschritt .....	22
Abbildung 9: Schematische Darstellung des Druckers für Selektives Lasersintern .....	24
Abbildung 10: Schema des Fused Desposition Modeling Verfahrens .....	26
Abbildung 11: Stützstrukturen beim Fused Deposition Modeling .....	27
Abbildung 12: Schema der 3DP-Druck-Methode .....	29
Abbildung 13: Schema der LOM-3D-Druck-Methode .....	30
Abbildung 14: Aktuelle Anwendungsfelder des 3D-Drucks .....	33
Abbildung 15: Modell eines Gebäudekomplexes aus dem 3D-Drucker .....	34
Abbildung 16: 3D-Modell einer Kuppel .....	34
Abbildung 17: Haus in Dubai aus dem Drucker .....	35
Abbildung 18: Bau eines Hauses aus dem 3D-Drucker .....	35
Abbildung 19: Beton-Wand aus dem 3D-Drucker .....	35

Abbildung 20: Aufbau der Beton-Wand .....	35
Abbildung 21: Werkzeugherstellung mit 3D-Druck.....	37
Abbildung 22: Additiv gefertigte Clips für Rolls-Royce Phantom .....	37
Abbildung 23: Montiertes MINI Blinkergehäuse mit Namen .....	37
Abbildung 24: Individuelles MINI Blinkergehäuse mit Namen .....	37
Abbildung 25: Gedruckte Halterung aus Titan .....	39
Abbildung 26: Neuer Kabinenhalter (vorne) im Vergleich mit dem bisherigen Modell .....	39
Abbildung 27: Additiv gefertigte Gasturbinenschaufel von Siemens .....	40
Abbildung 28: Verbaute, additiv gefertigte Schaufeln einer Gasturbine von Siemens .....	40
Abbildung 29: Hüftimplantat aus Titan .....	41
Abbildung 30: Gedruckter Ring aus Gold .....	42
Abbildung 31: Individuelles Ziffernblatt von A.L.B. ....	42
Abbildung 32: Adidas Futurecraft 3D Sportschuh .....	43
Abbildung 33: Reebok Liquid Speed.....	43
Abbildung 34: Anwendungsgebiete des 3D-Drucks gemäss einer Umfrage von Sculpeto ....	44
Abbildung 35: Wertschöpfung im Unternehmen nach Michael Porter .....	47
Abbildung 36: Schematische Darstellung primärer Aktivitäten in der Wertschöpfungskette ..	48
Abbildung 37: Schematische Darstellung einer Lieferkette .....	49
Abbildung 38: Vereinfachte Lieferkette der Adidas Group .....	50
Abbildung 39: Wege in die Zukunft.....	51
Abbildung 40: Die vier Szenarien-Grundformen .....	52
Abbildung 41: Die drei Phasen des Szenario-Entwicklungs-Prozesses .....	53
Abbildung 42: Die Systemebenen und Einflussbereiche einer Branche.....	54
Abbildung 43: Systembild und Einflussbereiche des 3D-Drucks .....	57
Abbildung 44: Vernetzungsmatrix der Einflussfaktoren.....	65
Abbildung 45: System-Grid zur Visualisierung der Vernetzung.....	66
Abbildung 46: Relevanzmatrix der Einflussfaktoren.....	67
Abbildung 47: Vernetzung-Relevanz-Grid.....	68
Abbildung 48: Kosten-Analyse des 3D-Drucks im Vergleich mit herkömmlichen Verfahren ..	70
Abbildung 49: Thermoskanne.....	86
Abbildung 50: Rohstoffgewinnung und Fertigung der Halbfabrikate .....	87
Abbildung 51: Produktion der Fertigfabrikate.....	88
Abbildung 52: Vertrieb und Verkauf der Fertigfabrikate .....	89
Abbildung 53: Angepasste Halbfabrikate-Produktion aus dem Szenario 1.....	90
Abbildung 54: Angepasste Produktion aus dem Szenario 1 .....	91
Abbildung 55: Angepasste Halbfabrikate-Produktion aus dem Szenario 2.....	93

Abbildung 56: Angepasste Produktion aus dem Szenario 2 mit erhöhter Digitalisierung.....	94
Abbildung 57: Angepasster Vertrieb anhand des Szenario 2.....	95
Abbildung 58: Heutiger Entwicklungs-Prozess eines neuen Bauteils.....	96
Abbildung 59: Entwicklungs-Prozess eines neuen Bauteils mittels integriertem 3D-Druck ...	97
Abbildung 60: Angepasste Halbfabrikate-Produktion aus dem Szenario 3.....	98
Abbildung 61: Angepasstes Schema des Unternehmens aus dem Szenario 3.....	98
Abbildung 62: Angepasster Vertrieb anhand des Szenario 3.....	99
Abbildung 63: Radikale Anpassung der Logistik in Szenario 3 .....	100
Abbildung 64: Angepasste Produktion des Filaments des Szenario 4 .....	101
Abbildung 65: Angepasstes Schema des Unternehmens aus dem Szenario 4.....	101
Abbildung 66: Angepasster Vertrieb anhand des Szenario 4.....	102
Abbildung 67: Einflussbereiche des 3D-Drucks auf die Wertschöpfungs- und Lieferkette...	103
Abbildung 68: Beispiele von heutigen Einsatzmöglichkeiten des 3D-Drucks .....	115
Abbildung 69: Kreativ angerichteter Salat aus dem 3D-Drucker .....	118
Abbildung 70: Ersatzteile on demand mit einem Logistik-Dienstleister .....	120
Abbildung 71: Auf der ISS hergestellter Schraubenschlüssel .....	122
Abbildung 72: Die erste Waffe aus dem 3D-Drucker .....	123

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Realisierungs-Phasen.....	11
Tabelle 2: Arbeitspaket-Planung.....	12
Tabelle 3: Vorgehens-Übersicht .....	13
Tabelle 4: Erhebungsinstrumente und Arbeitspakete .....	14
Tabelle 5: Veranschaulichung des 3D-Druckprozesses.....	18
Tabelle 6: Überblick über die 3D-Druck-Methoden, -Prinzipien und -Materialien .....	21
Tabelle 7: Die technischen Vor- und Nachteile des 3D-Drucks zusammengefasst .....	32
Tabelle 8: Einsparungen beim Werkzeugbau bei BMW .....	36
Tabelle 9: Zusammenfassung der Beispiele für Anwendungsfelder des 3D-Drucks .....	46
Tabelle 10: Beschreibung der Einflussfaktoren der ersten Systemebene .....	60
Tabelle 11: Beschreibung der Einflussfaktoren der zweiten Systemebene .....	62
Tabelle 12: Beschreibung der Einflussfaktoren der dritten Systemebene .....	63
Tabelle 13: Beschreibung der Einflussfaktoren der vierten Systemebene .....	64
Tabelle 14: Identifizierte Schlüsselfaktoren.....	69
Tabelle 15: Morphologischer Kasten zur Szenarien-Entwicklung.....	80
Tabelle 16: Projektions-Bündel 1 - Fortschritte in der Technologie-Entwicklung .....	81

Tabelle 17: Projektions-Bündel 2 - Steigende Nachfrage nach Individualisierungen.....	83
Tabelle 18: Projektions-Bündel 3 - Anstieg der Logistik-Kosten.....	84
Tabelle 19: Projektions-Bündel 4 - Dezentrale Produktion.....	85
Tabelle 20: Zusammenfassung der Auswirkungen des 3D-Drucks.....	110
Tabelle 21: Kategorien des Interviewfragebogens.....	126
Tabelle 22: Auflistung der Experten für die Interviews .....	127
Tabelle 23: Überprüfung der neun Thesen zum 3D-Druck.....	132

## Interview-Fragebogen

Der folgende Interview-Fragebogen wurde bei den Experten-Interviews zur Validierung der neun Thesen verwendet. Individuelle Zwischenfragen wurden jeweils spontan während des Interviews eingefügt und hier nicht nachträglich dokumentiert. Ausserdem wurden, in Abhängigkeit zum Verlauf des Interviews, teilweise Fragen übersprungen. Die Abschriften und die Audio-Aufzeichnungen der Experten-Interviews liegen dieser Master-Thesis digital bei.

Nr.	Hauptfrage	Detailfragen (Vertiefungsfragen)	Zielsetzung und theoretischer Hintergrund
<b>Einleitung (Informationen zur Person, zur Firma) – 4 Minuten</b>			
0	Wie kamen Sie mit dem 3D-Druck in Berührung?	Wie lange arbeiten Sie bereits mit dem 3D-Druck?  Was fasziniert Sie am Thema der additiven Fertigung?  Haben Sie bei sich Zuhause auch einen 3D-Drucker stehen?	Hintergrund-Informationen zum Interview-Partner.

Kategorie A: Technologie des 3D-Drucks (Technologien, 3D-Druck-Verfahren, Prozesse, Vorgehen) – 8-10 Minuten			
0	<b>Information:</b> Als nächstes kommen Fragen zu den 3D-Druck-Verfahren (Fused Deposition Modeling, Fused Filament Fabrication, Stereolithografie (STL, SLA) etc.). Dabei geht es um die Verfahren selber, deren Vor- und Nachteile. Als zweites wird auf das Vorgehen, der Prozess beim Erstellen eines gedruckten Objekts eingegangen, von der digitalen Zeichnung bis zum Endprodukt.		
1	Es gibt verschiedene 3D-Druck Verfahren wie FDM, STL, SLS etc. Welche 3D-Druck-Verfahren wenden Sie in Ihrem <i>Unternehmen/Zuhause</i> an?	Welche 3D-Drucker (Typen, Marken) setzen Sie bei sich im Unternehmen/Zuhause ein?	Referenz zum Kapitel 5.
2	Welche 3D-Druck-Verfahren sind generell am meisten verbreitet und eingesetzt?	Warum ist dieses Verfahren (aufgezählt) so stark verbreitet?	Erörterung der wichtigsten 3D-Druck-Verfahren (FDM, FFF, STL, SLS, LOM, MJM etc.)  Referenz zum Kapitel 5.
3	Durch welche Vor- und Nachteile zeichnet sich der 3D-Druck generell aus?	Welche wesentlichen Vor- und Nachteile hat der 3D-Druck aus Ihrer Sicht heute, auch im Vergleich zu bisherigen Verfahren wie CNC-Fräsen etc.?  Was ermöglicht der 3D-Druck, was bisher nicht möglich gewesen ist?  → Nachfragen: Geschwindigkeit, Design-Freiheiten, Leichtbau, Individualisierungen	Vorteile des 3D-Drucks im Vergleich zu anderen Verfahren.  Referenz zum Kapitel 5.
4	Wie sieht das Vorgehen aus, wenn ein Objekt mittels 3D-Druck hergestellt werden soll? Welche Prozess-Schritte gibt es? (Pro-Prozess, In-Prozess, Post-Prozess)	Wenn Sie diesen Prozess anschauen, was ist aus Ihrer Sicht der aufwändigste Schritt bezüglich Zeit und Kosten?  Was ist generell der grösste Kostenfaktor beim 3D-Druck, welcher Schritt im Prozess?	Untersuchung des Prozesses des 3D-Drucks. Wie ist das Vorgehen.  Referenz zum Kapitel 5.
5	Was sind die grössten Anbieter von 3D-Druckern für private und Unternehmen aktuell?	Wie steht die Schweiz im Bereich 3D-Druck da, ist sie eher ein Vorreiter oder eher ein Smart-Follower?	Marktübersicht, Anteile der Schweiz.

Kategorie B: Materialien in der Anwendung – 8-10 Minuten			
0	<b>Information:</b> Als nächstes geht es um die im 3D-Druck verwendbaren Materialien. Das bekannteste ist das Kunststoff-Filament, welches auch Zuhause eingesetzt wird. Dabei geht es um die Qualität des Drucks, des Endresultats, und was die Vorteile der unterschiedlichen Materialien sind.		
1	Mit welchen Materialien für den 3D-Druck arbeitet Ihr Unternehmen, welche Materialien setzen Sie ein?	<p>Was zeichnet diese Materialien aus?</p> <p>Welche Materialien können beim 3D-Druck generell verwendet werden? Was ist heute bereits möglich?</p> <p>Zuhause kann ich keine Farben oder verschiedene Materialien kombinieren. Ist dies mittlerweile möglich im professionellen Bereich?</p> <p>→ Nachfragen: Metalle, Stein, unterschiedliche Kunststoffe</p>	<p>Vielfalt der Materialien identifizieren.</p> <p>Referenz zum Kapitel 5.</p>
2	In der Literatur ist immer wieder die Rede davon, dass die Endprodukte brüchig und wenig stabil sind aufgrund des schichtweisen Aufbaus. Wie beurteilen Sie die Materialqualität der fertigen Produkte?	Gibt es Schwachstellen bei den Materialien und beim 3D-Druck, worauf muss speziell geachtet werden?	<p>Informationen zur Qualität der Materialien und der Endprodukte.</p> <p>Referenz zum Kapitel 5.</p>
3	Unternehmen, welche auf den 3D-Druck setzen, müssen nur noch Filament für Ihre 3D-Drucker einkaufen?	Was wird neben dem 3D-Druck-Material (Filament) benötigt für den Betrieb der 3D-Drucker?	Abhängigkeiten aufzeigen.



Kategorie C: Aktuelle Anwendungsfelder (Einsatzgebiete) – 8-10 Minuten			
0	<b>Information:</b> Bei den Anwendungsfeldern geht es darum, in welchen Bereichen, für welche Zwecke der 3D-Druck heute eingesetzt wird. Es gilt herauszufinden, wo und wofür der 3D-Druck aktuell eingesetzt wird und welche Beispiele es aktuell gibt.		
1	In welchen Anwendungsfeldern (Branchen) wird der 3D-Druck heute schon eingesetzt?	Wofür wird der 3D-Druck eingesetzt, welche Bauteile oder Produkte werden heute mit dem 3D-Druck hergestellt? Haben Sie allenfalls Beispiele aus Ihrem Unternehmen?	Identifikation der Anwendungsfelder (z.B. Medizin, High-Tech Flugzeug- und Auto-Industrie etc.)
		Wieso setzen die von Ihnen genannten Anwendungsfelder den 3D-Druck ein? Kennen Sie die Gründe dafür?	Referenz zum Kapitel 5.
2	Mit dem 3D-Druck stehen zukünftig vermehrt Produkte digital zur Verfügung. Welche Chancen und Gefahren sehen Sie bezüglich der Gefahr, dass geistiges Eigentum gestohlen wird?		Digitalisierung als Gefahr.
3	Im Zusammenhang mit dem 3D-Druck trifft man auf Begriffe wie Rapid-Prototyping, Rapid-Tooling oder Rapid (oder Direct)-Manufacturing.	Wenden Sie diese Vorgehensweisen an? Stellen Sie beispielsweise selber Werkzeuge her?	Rapid-Prototyping: Schnelles Erstellen von Prototypen und Modellen.  Rapid-Tooling: Erstellen von Werkzeugen mittels 3D-Druck.  Rapid(Direct)-Manufacturing: Schnelle und flexible Herstellung von Bauteilen und Serien mittels werkzeugloser Fertigung direkt aus den CAD-Daten.

#### Kategorie D: Thesen zu den Veränderungen der Wertschöpfungs- und Lieferketten durch den 3D-Druck – 15-20 Minuten

0	<b>Information:</b> Im Rahmen meiner Master-Thesis wurden mittels der Entwicklung von Szenarien neun Thesen ausgearbeitet, wie der 3D-Druck in Zukunft die Liefer- und Wertschöpfungsketten beeinflussen und sie damit verändern kann. Diese neun Thesen werde ich Ihnen vorlesen und ich bitte Sie mir zu sagen, ob Sie dieser These zustimmen (Ja), nicht zustimmen (nein) oder teilweise zustimmen (teilweise). Die Thesen wurden unter der Voraussetzung erstellt, dass der 3D-Druck zunehmend eingesetzt wird (allenfalls Schemas der Liefer- und Wertschöpfungskette zeigen).		
1	In den Medien und der Literatur steht oftmals geschrieben, dass der 3D-Druck die Lieferketten und damit die Logistik in Zukunft komplett umkrempeln wird. Wie stehen Sie dazu, wird der 3D-Druck heutige Liefer- und Wertschöpfungsketten beeinflussen?	Kann man dabei von einer Revolution für die Logistik sprechen?	Eigene Meinung zu den Auswirkungen auf die Logistik einholen.  Referenz zum Kapitel 8.
2	Logistik und Transport	These für die Zukunft: Der Waren- und Güterstrom wird sich durch den 3D-Druck verändern. Die Materialien für den 3D-Druck ersetzen teilweise die heute weltweit transportierten Güter.  Stimmen Sie dieser These zu? <input type="checkbox"/> Ja / <input type="checkbox"/> Nein / <input type="checkbox"/> Teilweise	Wird der 3D-Druck konsequent eingesetzt, müssen weniger Bauteile transportiert werden. Stattdessen werden Materialien für den 3D-Druck von den Produzenten zu den Unternehmen verschickt. Dadurch werden weniger und andere Logistikleistungen benötigt.  Referenz zum Kapitel 8.

Kategorie D: Thesen zu den Veränderungen der Wertschöpfungs- und Lieferketten durch den 3D-Druck – 15-20 Minuten			
3	Beschaffungs- und Lieferanten-Management	<p>These für die Zukunft: Die Anzahl der Lieferanten pro Unternehmen wird sich mit dem Einsatz des 3D-Drucks reduzieren. Das Beschaffungswesen (Einkauf) wird sich dadurch einfacher gestalten.</p> <p>Stimmen Sie dieser These zu?</p> <p><input type="checkbox"/> Ja / <input type="checkbox"/> Nein / <input type="checkbox"/> Teilweise</p>	<p>Das Lieferanten-Management kann den 3D-Druck dahingehend beeinflussen, dass die Anzahl der Lieferanten optimiert oder auch reduziert werden kann. Abhängig davon, wie umfangreich der 3D-Druck eingesetzt wird, gibt es eine Verlagerung von Produkt- oder Bauteil-Lieferanten zu 3D-Druck-Material-Lieferanten. Diese 3D-Druck-Material-Lieferanten liefern die Druckmaterialien, welche auf die Bedürfnisse und die eingesetzte 3D-Drucker-Hardware der Unternehmen abgestimmt sind.</p> <p>Referenz zum Kapitel 8.</p>
4	Lagermanagement	<p>These für die Zukunft: Mit dem konsequenten Einsatz des 3D-Drucks werden sich die benötigten Lagerkapazitäten verringern. An der Stelle von Halbfabrikaten werden Materialien für den 3D-Druck gelagert. Die Lagerverwaltung gestaltet sich einfacher.</p> <p>Stimmen Sie dieser These zu?</p> <p><input type="checkbox"/> Ja / <input type="checkbox"/> Nein / <input type="checkbox"/> Teilweise</p>	<p>Die Eingangslogistik und die damit zusammenhängende Zwischenlagerung von Halbfabrikaten wird durch den Einsatz des 3D-Drucks vereinfacht werden. Der konsequente Einsatz des 3D-Drucks kann die Anzahl unterschiedlicher Bauteile, die gelagert werden müssen, reduzieren. Dies verringert die benötigten Lagerkapazitäten.</p> <p>Referenz zum Kapitel 8.</p>

Kategorie D: Thesen zu den Veränderungen der Wertschöpfungs- und Lieferketten durch den 3D-Druck – 15-20 Minuten			
5	Produktion	<p>These für die Zukunft: Die technischen Vorteile und Design-Freiheiten des 3D-Drucks werden die Entwicklung und die Produktion von Bauteilen und Produkten gezielt beeinflussen: Herkömmlich produzierte Bauteile werden gezielt durch gedruckte Versionen ersetzt.</p> <p>Stimmen Sie dieser These zu?</p> <p><input type="checkbox"/> Ja / <input type="checkbox"/> Nein / <input type="checkbox"/> Teilweise</p>	<p>Die technischen Vorteile des 3D-Drucks gegenüber bisherigen Herstellungs-Methoden werden durch die Unternehmen gezielt eingesetzt. Dadurch werden interne Produktionsprozesse angepasst und der 3D-Druck in die heutigen Wertschöpfungssysteme integriert.</p> <p>Referenz zum Kapitel 8.</p>
6	Produktgestaltung	<p>These für die Zukunft: Der 3D-Druck wird Produkt-Individualisierung ermöglichen (Mass Customization statt Massenproduktion). Produkte können vermehrt auf die individuellen Anforderungen der Auftraggeber angepasst werden.</p> <p>Stimmen Sie dieser These zu?</p> <p><input type="checkbox"/> Ja / <input type="checkbox"/> Nein / <input type="checkbox"/> Teilweise</p>	<p>Die Produktgestaltung kann vermehrt auf die Anforderungen der Kunden eingehen und gezielte Individualisierungen vornehmen. Dies wiederum hat Auswirkungen auf das Marketing und den Verkauf, da die Individualisierungen als Differenzierungsmerkmal hervorgehoben werden können.</p> <p>Referenz zum Kapitel 8.</p>
7	Forschung und Entwicklung	<p>These für die Zukunft: Im Bereich der Entwicklung wird der 3D-Druck zum Standard bezüglich des Baus von Prototypen oder Modellen.</p> <p>Stimmen Sie dieser These zu?</p> <p><input type="checkbox"/> Ja / <input type="checkbox"/> Nein / <input type="checkbox"/> Teilweise</p>	<p>Mit dem 3D-Druck ist es möglich, Prototypen von Bauteilen direkt aus dem 3D-Drucker, teilweise auch mit integrierter Funktionalität, zu erstellen. Dies verkürzt und vereinfacht die Entwicklung neuer Bauteile und Produkte.</p> <p>Referenz zum Kapitel 8.</p>

Kategorie D: Thesen zu den Veränderungen der Wertschöpfungs- und Lieferketten durch den 3D-Druck – 15-20 Minuten			
8	Ersatzteilmanagement	<p>These für die Zukunft: Physische Ersatzteillager werden durch digitale Pendants ersetzt. Ersatzteile werden nur noch bei Bedarf effektiv physisch mittels 3D-Druck hergestellt.</p> <p>Stimmen Sie dieser These zu?</p> <p><input type="checkbox"/> Ja / <input type="checkbox"/> Nein / <input type="checkbox"/> Teilweise</p>	<p>Ersatzteile müssen nicht mehr dezentral gelagert, sondern können, wenn diese benötigt werden, direkt mittels 3D-Druck hergestellt werden.</p> <p>Referenz zum Kapitel 8.</p>
9	Digitalisierung	<p>These für die Zukunft: Die Wertschöpfungs- und Lieferketten werden durch den 3D-Druck vermehrt digitalisiert. Die effektive Produktion verlagert sich geografisch als auch innerhalb der Wertschöpfungskette näher zum End-Kunden.</p> <p>Stimmen Sie dieser These zu?</p> <p><input type="checkbox"/> Ja / <input type="checkbox"/> Nein / <input type="checkbox"/> Teilweise</p>	<p>Die Produkte werden mit der Anwendung des 3D-Drucks zunehmend digitalisiert. Für alle Bauteile und Produkte liegen digitale 3D-Modelle vor, welche bei der Produktion, bei der Produktgestaltung, beim Kundendienst im Ersatzteilmanagement oder auch bei der Forschung und Entwicklung Verwendung finden.</p> <p>Referenz zum Kapitel 8.</p>
10	Do-It-Yourself	<p>These für die Zukunft: Der Kunde wird verstärkt in die Wertschöpfungs-Kette integriert. Der Kunde wird Produkte zukünftig digital erwerben und druckt diese selber aus. Er wird damit Bestandteil der Wertschöpfungskette.</p> <p>Stimmen Sie dieser These zu?</p> <p><input type="checkbox"/> Ja / <input type="checkbox"/> Nein / <input type="checkbox"/> Teilweise</p>	<p>Der Kunde wird mit dem 3D-Druck befähigt, seine eigenen Bauteile oder Ersatzteile zu erstellen und zu produzieren. Er kann damit in die Wertschöpfungskette miteinbezogen werden.</p> <p>Referenz zum Kapitel 8.</p>

### Kategorie E: Thesen zu den zukünftigen Potenzialen und Entwicklungen des 3D-Drucks – 4-6 Minuten

0	<b>Information:</b> Hier geht es um einen Ausblick über die Entwicklung des 3D-Drucks.		
1	Was sind Ihrer Meinung nach die stärksten Treiber (Einflussfaktoren: Technologien, Materialien etc.) für die weitere Entwicklung und Verbreitung des 3D-Drucks?	Wo muss und wird sich der 3D-Druck verbessern?	Identifikation der Treiber und Einflussfaktoren des 3D-Drucks (Technologie etc.)
2	Mit dem 3D-Druck wird vermehrt experimentiert. So wurden bereits kleine Häuser im 3D-Druck-Verfahren gebaut oder in der Medizin werden menschliche Zellen zum Drucken verwendet.  Wo sehen Sie zukünftige Potenziale des 3D-Drucks, was erwartet uns aus Ihrer Sicht als nächstes?	Was sind die nächsten grossen Entwicklungen des 3D-Drucks? Welche Möglichkeiten wird der 3D-Druck in Zukunft offenbaren?  Wo sehen Sie Gefahren bezüglich dem 3D-Druck (Waffen)?	Potenziale abfragen.
3	Wo wird der durchschnittliche Bürger Ihrer Meinung nach auf den 3D-Druck stossen, wo werden wir ihn zuerst antreffen?	Wo wird der Benutzer den 3D-Druck selber anwenden?  Wird in Zukunft der 3D-Druck in jedem Haushalt anzutreffen sein? Wird dies zum Standard, ähnlich der Entwicklung des PC's?	Zukünftige Möglichkeiten.  Referenz auf Kapitel 9

### Abschlussfragen – 4 Minuten

0	<b>Information:</b> Abschluss und Danksagung.		
1	Vor kurzem wurde in den Medien darübergeschrieben, dass der Sportartikelhersteller Adidas die Sohlen für seine Turnschuhe drucken will. Glauben Sie an den Erfolg einer solchen Strategie?	Würden Sie einen solchen Schuh erwerben?	
2	Was meinen Sie, steht in Zukunft in jedem Haushalt ein 3D-Drucker?	Wird es eine ähnliche Entwicklung mit dem 3D-Druck wie mit dem PC geben? Wieso nicht/wieso schon?	
3	Möchten Sie etwas ergänzen, was Ihnen noch wichtig ist?		